



**19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES
PATENTAMT**

**⑫ Offenlegungsschrift
⑩ DE 43 01 130 A 1**

(51) Int. Cl.⁵:
G 05 B 13/02
B 21 B 37/00
G 06 G 7/66

(21) Aktenzeichen: P 43 01 130.6
(22) Anmeldetag: 18. 1. 93
(43) Offenlegungstag: 22. 7. 93

⑩ Unionspriorität: ③2 ③3 ③1
20.01.92 JP 4-007630

⑦ Anmelder:
Hitachi, Ltd., Tokio/Tokyo, JP

(74) Vertreter:
Strehl, P., Dipl.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing.;
Schübel-Hopf, U., Dipl.-Chem. Dr.rer.nat.; Groening,
H., Dipl.-Ing., Pat.-Anwälte, 8000 München

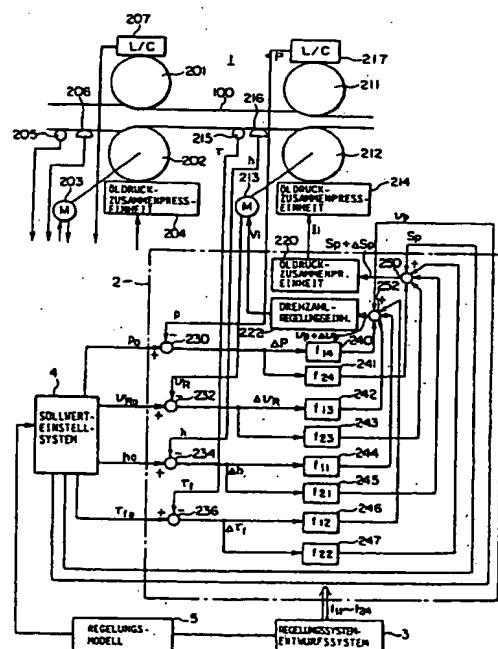
72 Erfinder:

Katayama, Yasunori, Mito, JP; Morooka, Yasuo; Okada, Takashi; Nakajima, Masaaki, Hitachi, JP; Hattori, Satoshi, Iwaki, JP; Shigyo, Masakane, Hitachi, JP

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54) Verfahren und Vorrichtung zum Steuern eines Objektes unter Verwendung einer Lernfunktion

57 Ein Verfahren und eine Einheit zur Regelung eines Objekts
(1) gibt Stellwerte an Stellglieder (213, 214) aus, die das Objekt so steuern, daß es einen gewünschten Ablauf ausführt. Die Beziehung zwischen jeweiligen Werten des Parameters des Modells für das geregelte Objekt und den Eingangs/Ausgangs-Zuständen des Modells wird durch Lernen erhalten. Diese durch Lernen erhaltene Beziehung wird in einer Speichereinheit abgespeichert. Parameterwerte für das Modell werden dadurch festgelegt, daß auf das in der Speichereinheit abgelegte Lernergebnis auf Grundlage von Eingangs/Ausgangs-Meßwerten für das geregelte Objekt zugegriffen wird. Die auf Grundlage der erkannten Parameterwerte ermittelten Stellwerte werden an die Stellglieder ausgegeben.



Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Steuern eines Objektes, spezieller ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Festlegen des Sollwertes eines nichtlinearen Regelungssystems, wie einer Walzstraße.

Es ist möglich, einen hochgenauen Einstellvorgang zum Festlegen des Sollwertes eines Regelungssystems auszuführen, wenn eine lineare Regeltheorie verwendet wird, wie sie für ein lineares Regelungssystem entwickelt wurde. Wenn diese lineare Regelungstheorie jedoch auf ein zu regelndes Objekt mit starker Nichtlinearität angewendet wird, z. B. auf eine Walzstraße zum Walzen eines Materials, ist es nicht möglich, den gewünschten Grad an Regelungsgenauigkeit zu erzielen, und es ist nicht möglich, die Qualität des Produkts (eines Stahlprodukts im Fall der Walzstraße) stark zu verbessern. Als Regelungssystem zum Regeln einer Walzstraße ist ein Sollwerteinstellsystem bekannt, mit dem der Sollwert für den Gleichgewichtszustand erhalten wird, wenn keine zeitliche Änderung beim geregelten Objekt vorliegt, und es bestand der Wunsch nach einem Verfahren zum Erzielen einer hochgenauen Einstellung im Sollwerteinstellsystem. Diese Sollwerteinstellung ist z. B. eine solche bei der Regelung eines Wärmekraftwerks oder bei einer Anlagenregelung.

Im allgemeinen wird in einem Sollwerteinstellsystem eine optimale Lösung auf Grundlage dynamischer Programmierung oder linearer Programmierung erhalten, wobei ein Zeitänderungsfaktor ausgeklammert wird, auf dieselbe Weise, wie dies bei der stationären Lösung einer Differentialgleichung erfolgt; so wird ein Sollwert festgelegt. Wenn dieser einmal erhalten ist, erfolgt Regelung auf Grundlage der linearen Regelungstheorie, gemäß der das Verhalten des zu regelnden Gegenstandes um den Sollwert linearisiert wird und die Regelabweichung vom Sollwert als Regelgröße auf Null gesetzt wird und eine optimale Lösung als Übergangslösung der Differentialgleichung aufgesucht wird.

Sollwerteinstellung ist im Detail in "The Theory and Praxis of a Plate Rolling (Theorie und Praxis eines Plattenwalzvorgangs)" von The Iron and Steel Institute of Japan beschrieben, erschienen am 1. September 1984, S. 289–292.

Bei der oben beschriebenen bekannten Technik liegt immer der Fall vor, daß ein Regelungsmodell zum Festlegen des Sollwertes durch Sollwerteinstellung sich dauernd ändert. Im Fall einer Walzstraße liegen z. B. zuviele unbekannte Parameter vor. Selbst wenn der Wert jedes Parameters festgelegt wurde, ist es ferner im allgemeinen so, daß der einmal festgelegte Wert jedes Parameters sich leicht aufgrund von Änderungen der Umgebungs faktoren ändert, wie z. B. des Wertes von Reibungswiderstandsänderungen und Walzenausdehnungen aufgrund von Wärme, wie sie während des Walzvorgangs erzeugt wird. Da es schwierig ist, die Änderungswerte von Parametern genau zu bestimmen, ändert sich der einmal von der Sollwerteinstellung festgelegte Sollwert stark, wodurch sich auch Parameter der Regelung ändern, mit dem Ergebnis, daß es unmöglich ist, ein Erzeugnis (ein Stahlerzeugnis im Fall einer Walzstraße) zufriedenstellender Qualität zu erhalten.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Einstellverfahren und eine Einstellvorrichtung anzugeben, die zufriedenstellende Sollwerteinstellung für ein Objekt mit starker Nichtlinearität gewährleisten können.

Die Erfindung ist hinsichtlich des Verfahrens durch die Merkmale von Anspruch 1 und hinsichtlich der Vorrichtung durch die Merkmale von Anspruch 10 gegeben.

Vorzugsweise ist das Modell für das geregelte Objekt ein Sollwerteinstellmodell, und der Schritt zum Ausgeben der Stellwerte an die Stellglieder legt Eingangs/Ausgangs-Sollwerte für das geregelte Objekt durch die Sollwerteinstellung auf Grundlage der festgelegten Parameter fest, erhält die Stellwerte und gibt sie an die Stellglieder aus und führt Regelung in solcher Weise aus, daß die Regelabweichungen Null sind, wie sie zwischen den Sollwerten und den Werten der Ausgangszustände bestehen, wie sie für das geregelte Objekt auf Grundlage der Stellwerte erhalten werden.

Vorzugsweise wird der obige Lernschritt unter Verwendung eines neuronalen Netzwerks ausgeführt.

Vorzugsweise wird auch der obige Schritt des Festlegens der Parameter mit Hilfe eines neuronalen Netzwerks ausgeführt.

Anders gesagt, wird gemäß der Erfindung, ausgehend von der Tatsache, daß wegen der Nachteile der herkömmlichen Sollwerteinstellung diese nicht auf Änderungen der Parameterwerte eines Regelmodells reagieren kann, eine Beziehung zwischen dem Regelmodell und den Parameterwerten vorab gelernt und abgespeichert, Parameterwerte werden aus dem aktuellen Betriebszustand des geregelten Objektes auf Grundlage des Lernergebnisses abgeschätzt, und die abgeschätzten Parameterwerte werden als solche für die Sollwerteinstellung und die Regelung verwendet.

Bei der Dickenregelung in einer Walzstraße, bei der sich innerhalb der Regelung verwendete Sollwerte stark ändern, ist es schwierig, Parameter des Modells für einen geregelten Gegenstand für jeden Augenblick des Walzvorgangs zu bestimmen. Daher war es mit dem herkömmlichen Verfahren unmöglich, ein genaues Regelungsmodell zu errichten, da sich die Parameterwerte aufgrund zeitlicher Faktoren änderten. Bei Vorgehensweise mit moderner Regelungstheorie, die den Leistungsgrad verbessern kann, wenn das Regelungsmodell genau ist, konnte diese ihr Leistungsvermögen nicht voll ausspielen. Gemäß der Erfindung ist es jedoch möglich, ein genaues Regelungsmodell zu erzeugen, das auf ein zu regelndes Objekt mit stark nichtlinearer Charakteristik angewendet werden kann, und es ist auch möglich, das Leistungsvermögen der Regelung zu verbessern. Demgemäß ist es möglich, die Genauigkeit der Sollwerteinstellung zum Regeln des stark nichtlinearen Objektes zu verbessern, was zu einem zufriedenstellenden Regelungsergebnis führt.

Die Erfindung wird im folgenden anhand von durch Figuren veranschaulichten Ausführungsbeispielen näher beschrieben.

Fig. 1A ist ein Blockdiagramm, das ein Regelungssystem veranschaulicht, mit dem die Regelungsvorrichtung gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung arbeitet;

Fig. 1B ist ein Blockdiagramm zum Veranschaulichen eines Lernsystems beim obigen Ausführungsbeispiel der

Erfindung:

Fig. 2 ist ein Blockdiagramm, das die gesamte Regelungsvorrichtung gemäß dem obigen Ausführungsbeispiel der Erfindung zeigt;

Fig. 3 ist ein Blockdiagramm, das die Regelungsvorrichtung des obigen Ausführungsbeispiels unter Anwendung auf eine Walzstraße zeigt;

Fig. 4 ist ein Diagramm, das die Beziehung zwischen einem gewalzten Objekt und Walzen zeigt;

Fig. 5 ist ein Diagramm, das eine Dickengleichung veranschaulicht;

Fig. 6 ist ein Diagramm einer Verformungskurve für ein gerade gewalztes Objekt;

Fig. 7 ist ein Diagramm zum Veranschaulichen von Betriebspunkten, in denen eine Walzstraße arbeitet;

Fig. 8 bis 10 sind Diagramme zum Veranschaulichen der Änderungen der Betriebspunkte einer Walzstraße, abhängig von jeweiligen Betriebsbedingungen;

Fig. 11 ist ein Konfigurationsdiagramm zum Erläutern des Betriebs einer lernenden Regelungsvorrichtung während eines Lernvorgangs;

Fig. 12 ist ein Diagramm zum Veranschaulichen von Daten, wie sie beim Lernen erhalten werden;

Fig. 13 ist ein Diagramm zum Veranschaulichen eines Speichers, der gelernte Daten speichert;

Fig. 14 ist ein Konfigurationsdiagramm zum Erläutern des Betriebs einer lernenden Regelungsvorrichtung, wenn Regelung unter Verwendung des Lernergebnisses ausgeführt wird;

Fig. 15 ist ein Flußdiagramm zum Veranschaulichen eines Lernvorgangs beim obigen Ausführungsbeispiel;

Fig. 16 ist ein Blockdiagramm zum Veranschaulichen eines Regelungsausführungsablaufs beim obigen Ausführungsbeispiel;

Fig. 17A bis 17C sind Diagramme zum Veranschaulichen von Lernvorgängen beim obigen Ausführungsbeispiel;

Fig. 18A bis 18D sind Diagramme zum Veranschaulichen von Abschätzvorgängen beim obigen Ausführungsbeispiel;

Fig. 19 ist ein Diagramm zum Veranschaulichen der Beziehung zwischen einem gewalzten Objekt und Walzen;

Fig. 20 ist ein Diagramm zum Veranschaulichen des Betriebs eines anderen Ausführungsbeispiels der Erfindung;

Fig. 21 ist ein Diagramm zum Darstellen des Regelungsablaufs beim obigen anderen Ausführungsbeispiel;

Fig. 22 ist ein Diagramm zum Veranschaulichen aktueller Daten über einen längeren Zeitraum beim obigen, anderen Ausführungsbeispiel;

Fig. 23 ist ein Diagramm zum Veranschaulichen aktueller Daten über einen kurzen Zeitraum beim obigen, anderen Ausführungsbeispiel;

Fig. 24 ist ein Diagramm zum Veranschaulichen von Änderungen eines Modells auf Grundlage von Parameteränderungen der Walzstraße; und

Fig. 25 ist ein Diagramm zum Veranschaulichen von Einflußkoeffizienten.

Ausführungsbeispiele des Verfahrens und der Vorrichtung gemäß der Erfindung zum Ausführen von Regelungsvorgängen an einem Objekt werden nun unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen erläutert. Bei den folgenden Ausführungsbeispielen ist die Erfindung auf die Regelung einer nichtlinearen Regelstrecke angewendet, wie auf die Regelung der Plattendicke in einer Walzstraße.

Wie in Fig. 3 dargestellt, läßt z. B. eine Walzstraße ein zu walzendes Objekt 100 zwischen mehreren Paaren von Walzen 201, 202, 211 und 212 (beim Beispiel von Fig. 3 sind nur zwei Paare eingezeichnet) durch, wobei die Drehzahlen der Walzen 202 und 212 in einem jeweiligen Paar durch Motoren 203 bzw. 213 eingestellt werden. Gleichzeitig werden die Positionen, an denen die Walzen 202 und 212 das Walzobjekt 100 unter Druck auswalzen, durch Öldruck-Zusammenpreßeinheiten 204 bzw. 214 eingestellt. So wird die Plattendicke des gewalzten Objekts auf einen gewünschten Wert geregelt. Die Regelung des Motors 213 und der Öldruck-Zusammenpreßeinheit 214, die dem Paar der Walzen 211 und 212 entsprechen und bei denen es sich um Stellglieder für das geregelte Objekt handelt, wird z. B. dadurch ausgeführt, daß ein Geschwindigkeitsstellwert V_i und ein Zusammenpreß-Positionsstellwert P_i von einer Drehzahlsteileinheit 214 von einer Drehzahlregelungseinheit 222 bzw. einer Öldruckregelungseinheit 220 an den Motor 213 bzw. die Öldruck-Zusammenpreßeinheit 214 ausgegeben werden.

Die Walzstraße wird auf die folgende Weise geregelt. Es erfolgt eine Beschreibung nur für die Regelung des Paares der Walzen 211 und 212. Andere Walzenpaare werden auf ähnliche Weise geregelt.

Zunächst gibt unter Verwendung eines Regelungsmodells 5 der Walzstraße für das gewalzte Objekt ein Sollwerteinstellsystem 4 einen Solldruck p_0 , eine Solldrehzahl V_{R0} , eine Sollplattendicke h_0 sowie einen Solzug τ_{10} aus, und diese Werte werden jeweils an Subtrahierer 230, 232, 234 bzw. 236 innerhalb der Regelungseinheit 2 gegeben. Gleichzeitig erhalten die Subtrahierer 230, 232, 234 und 236 einen Druckwert p von einer Walzendruckzelle 217, einen Drehzahlwert V_R für den Motor 213, der zum Antreiben der Walze 212 dient, einen Plattendickewert h von einem Plattendickemesser 216 für das gewalzte Objekt bzw. einen Zugwert τ_1 von einem Zugmesser 215 zum Messen des Zugs des gewalzten Objekts. Dann werden die Werte von P , V_R , h und τ_1 von den Werten für p_0 , V_{R0} , h_0 bzw. τ_{10} abgezogen, um Abweichungen Δp , ΔV_R , Δh bzw. $\Delta \tau_1$ zu erhalten.

Ein Regelungssystem-Entwurfssystem 3 erhält Rückkopplungsparameter f_{11} bis f_{24} für optimale Regelung auf Grundlage des Regelungsmodells 5, und zwar mit einem später zu erläuternden Verfahren, und es gibt die Werte f_{11} bis f_{24} an eine Regelungseinheit 2 aus. Diese multipliziert die Rückkopplungsparameterwerte f_{14} , f_{13} , f_{11} sowie f_{12} unter Verwendung von Multiplizierern 240, 242, 244 bzw. 246 mit den zugehörigen Abweichungen Δp , ΔV_R , Δh und $\Delta \tau_1$, um eine Sollgeschwindigkeitsabweichung $\Delta V_p = f_{14}\Delta p + f_{13}\Delta V_R + f_{11}\Delta h + f_{12}\Delta \tau_1$ zu erhalten, und gibt diesen Wert ΔV_p an einen Addierer 252. Ferner multipliziert die Regelungseinheit 2 die Rückkopplungsparameterwerte f_{24} , f_{23} , f_{21} und f_{22} unter Verwendung von Multiplizierern 241, 243, 245 und 247 mit zugehörigen

DE 43 01 130 A1

Abweichungen ΔP , ΔV_R , Δh und Δt_f , um einen Wert $\Delta S_p = f_{24}\Delta P + f_{23}\Delta V_R + f_{21}\Delta h + f_{22}\Delta t_f$ zu erhalten, und gibt den Wert ΔS_p an einen Addierer 250.

Ein Sollwerteinstellsystem 21 gibt einen Drehzahlsollwert S_p und einen Andruckpositionssollwert V_p auf Grundlage des Regelungsmodells an die Addierer 250 und 252 aus. Demgemäß addieren diese die Sollwertabweichungen ΔS_p , ΔV_p und die Sollwerte S_p , V_p und geben die Summen an eine Öldruck-Regelungseinheit 220 bzw. eine Drehzahlregelungseinheit 222.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung wird unter Bezugnahme auf die Zeichnungen erläutert.

Fig. 1A ist ein Konfigurationsdiagramm einer Regelungseinheit zum Regeln eines Objektes gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung. Ein geregeltes Objekt 1 arbeitet mit gewünschtem Genauigkeitspegel auf Grundlage eines Stellwerts, wie er von einer Regelungseinheit 2 ausgegeben wird. Die Regelungseinheit 2 beinhaltet ein Rückkopplungssystem, um auf Grundlage des Zustandes des geregelten Objektes 1 sowie der Regelungsstruktur oder Parametern, wie sie von einem Regelungssystem-Entwurfssystem 3 festgelegt werden, eine Regelungsabweichung festzustellen, sie addiert diese Regelungsabweichung zu einem Sollwert, wie er von einem Sollwerteinstellsystem 4 ausgegeben wird, um den Sollwert auf Grundlage der Nichtlinearität des geregelten Objektes 1 festzulegen, und sie erzeugt einen Stellwert für das geregelte Objekt 1. In diesem Fall wird das Rückkopplungssystem als DDC(Direct Digital Control)-System bezeichnet, und es weist eine Funktion dahingehend auf, daß es ein Regelungssystem so strukturiert, daß die Regelabweichung gegenüber dem Sollwert auf Null gestellt wird, was auf Grundlage von Zuständen oder Steuerungsgrößen des geregelten Objektes erfolgt.

Das Sollwerteinstellsystem 4 legt den Sollwert unter Verwendung des Modells 5 für das geregelte Objekt 1 fest. Das Regelungsmodell 5 beinhaltet eine Verformungskurve für ein gewalztes Objekt, eine Walzkraftfunktion, den Einfluß des Zugs und einer Ölfilmdickenkompensation, wenn es sich um eine Walzstraße handelt. Z. B. wird als Walzkraftfunktion der folgende Ausdruck (1) einer "Hill'schen Approximation" verwendet, bei der es sich um eine Approximation ausgehend von "Bland & Ford" handelt:

$$25 \quad P_i = b \cdot k_i \cdot x_i \cdot D_{pi} \cdot \sqrt{R'_i} \cdot (H_i - h_i) \quad (1)$$

mit:

b Streifenbreite

30 ki Zwangsstreckspannung

D_{pi} Reibungskompensationsterm

hi eingestellte Dicke an der i-ten Position

$$35 \quad D_{pi} = a_1 - a_2 \cdot r_i + a_3 U_i \cdot r_i \sqrt{1 - r_i} \cdot \sqrt{\frac{R'_i}{h_i}} \quad (2)$$

wobei a₁, a₂ und a₃ Konstanten sind. Der Reibungskoeffizient u_i ist durch folgende Gleichung (3) gegeben:

$$40 \quad u_i = u_{oi} \cdot \left(u_{ci} + \frac{u_{c2}}{u_{c3} + V_{oi}} \right) \quad (3)$$

mit

45 u_{oi} Konstante (schmiermittelabhängig)

u_{ci} Walzendrehzahl

r_i Anpreßrate in der i-ten Position

R_i Arbeitswalzendurchmesser in der i-ten Position

H_i Plattendicke an der Eingangsseite der i-ten Position

50 x_i Zugspannungseinflußterm in der i-ten Position

R_{i'} Walzenebene ("Hitchcock"-Ausdruck)

Die Einstellung eines physikalischen Ausdrucks zum Strukturieren des Regelungsmodells 5, wie z. B. der Reibungskoeffizient u_i, wird durch die Betriebstemperatur der Walzstraße oder durch das Walzöl (Schmieröl) beeinflußt und ändert sich daher während eines aktuellen Walzvorgangs stark. Anders gesagt, ändern sich in vielen Fällen die Parameterwerte leicht auf Grundlage von Änderungen des Betriebszustandes, wie bei einer Änderung der Walzendrehzahl, wobei jedoch relativ klar ist, daß die Struktur des Modells 5 für das geregelte Objekt 1 durch eine Gleichung wiedergegeben werden kann. Es ist nicht möglich, ein genaues Regelungsmodell 5 zu erstellen, solange es nicht möglich ist, die Parameterwerte festzulegen, wie die Konstanten a₁, a₂, a₃ sowie die Koeffizienten für die Reibung u_i, k_i, u_{oi} und u_{ci}.

Gründe für die Änderungen von Parameterwerten im Modell 5 werden nachfolgend erläutert.

Wenn ein gewalztes Objekt als elastisches Material angesehen wird, kann die folgende Dickegleichung (in Fig. 5 dargestellt) erhalten werden:

$$65 \quad h = s + R_0/k \quad (4)$$

Wie in Fig. 4 dargestellt, ist die Plattendicke s direkt zwischen den Walzen, und diese Plattendicke s ist um die Dicke P/K wegen eines Federeffektes kleiner als die tatsächliche Plattendicke P/K. Wenn die gewalzte Platte die

Position direkt zwischen den Walzen verläßt, ist der Anpreßdruck aufgehoben. Es gilt:

H Plattendicke an der Ausgangsseite der Walzen,
 S Abstand zwischen den Walzen,
 h Plattendicke an der Ausgangsseite der Walzen,
 k Elastizitätskoeffizient der gewalzten Platte,
 p Druck.

5

Die Gleichungen (4) und (1) sind in Kurven dargestellt, wie sie die Fig. 5 bzw. 6 zeigen. In der Verformungskurve des zu regelnden Objektes, wie sie in Fig. 5 dargestellt ist, ist der Schnittpunkt zwischen der Kurve und der x-Achse der Punkt für die Plattendicke an der Eingangsseite beim Druck Null. Sollwerte für die Walzstraße werden jeweils als Schnittpunkt zwischen der Kurve für die Dickengleichung gemäß Fig. 5 und die Verformungskurve gemäß Fig. 6 gegeben, wie dies in Fig. 7 dargestellt ist.

10

Wenn sich die Plattendicke einer gewalzten Platte (Plattendicke an der Eingangsseite) von H auf H_0 ändert, erfährt die Verformungskurve für das gewalzte Objekt eine Parallelverschiebung ausgehend von einer gestrichelten Linie zu einer durchgezogenen Linie (in diesem Fall bewegt sich der Schnittpunkt mit der x-Achse von H nach H_0). Die Sollplattendicke ändert sich von h auf h_0 , und der Solldruck ändert sich von p auf p_0 .

15

Wenn sich durch eine automatische Regelung die Zusammenpreßposition von S nach S_1 ändert, wandert die Dickengleichungskurve von einer gestrichelten Linie zu einer durchgezogenen Linie, um die Beziehung einzunehmen, wie sie in Fig. 4 dargestellt ist. Der Solldruck ändert sich von p_0 in Fig. 8 auf p_1 in Fig. 9, jedoch kehrt die Sollplattendicke von h_0 nach h zurück.

20

Anders gesagt, werden bei der automatischen Regelung die Werte $\Delta h = (h - h_0)$ sowie $\Delta P = (P - P_0)$ erfaßt, $\Delta S_p = f_1 \Delta h + f_2 \Delta P$ wird rückgekoppelt, um eine Zusammenpreß-Sollwertabweichung zu erhalten, und diese Zusammenpreß-Sollwertabweichung wird zum Sollwert S addiert, um einen Stellwert $S_p = S + \Delta S_p$ auszugeben, wobei f_1 und f_2 Rückkopplungskoeffizienten sind. Wenn sich jedoch Parameterwerte für die Verformungskurven für das zu walzende Objekt aufgrund einer Änderung der Betriebsbedingungen verändert haben, wie aufgrund einer Änderung der Drehzahl v_p , und sich die Verformungskurve für das zu walzende Objekt von der gestrichelten Linie zur durchgezogenen Linie in Fig. 10 geändert hat, ist es erforderlich, die Position nach S_2 zu bewegen, um eine ausgangsseitige Plattendicke h zu erhalten, die mit der von Fig. 9 übereinstimmt. In diesem Fall nimmt der Druck den Wert P_2 ein. Obwohl es hierbei erforderlich ist, die Plattendicke durch $\Delta h = h' - h$ und den Druck mit $\Delta P = P' - P_0$ rückzukoppeln, werden die Plattendicke und der Druck tatsächlich nur durch $h_0 - h$ bzw. $P_1 - P_0$ rückgekoppelt, da die Verformungskurve des gewalzten Gegenstandes, wie sie durch die ausgezogene Linie in Fig. 10 ausgedrückt wird, nicht genau bekannt ist. Anders gesagt, ist es auf Grundlage des Rückkopplungskoeffizienten, wie er aus der Verformungskurve für das zu walzende Objekt gemäß Fig. 9 erhalten wird, nicht möglich, einen Stellwert zu erzeugen, der die Zusammenpreßposition zum tatsächlich erforderlichen Punkt S_2 führt. Demgemäß ist es erforderlich, Parameterwerte zu korrigieren, die den Änderungen der Betriebsbedingungen folgen, und dann die Koeffizienten f_1 und f_2 auf Grundlage der richtigen Parameterwerte zu verändern.

25

Gemäß einem Beispiel werden ein Eingangswert und ein Ausgangswert für das geregelte Objekt 1 in eine Lernregelungseinheit 6 eingegeben, und Parameter des Regelungsmodells 5 werden von der Lernregelungseinheit 6 ausgegeben. In diesem Fall können die Parameter des Regelungsmodells 5 in jedem Moment auf Grundlage des Betriebs für das geregelte Objekt 1 festgelegt werden. Daher ist es möglich, Parameter in jedem Augenblick, abhängig von zugehörigen Änderungen festzulegen, wie zeitlichen Änderungen und Temperaturänderungen.

40

Auf Grundlage einer Simulation wird eine Beziehung zwischen den Parametern des Modells 5 für das geregelte Objekt und Zuständen (nachfolgend werden Eingangswerte für das geregelte Objekt 1 und das Modell 5, Ausgangswerte für das geregelte Objekt 1 und das Modell 5 sowie ein interner Zustand des Modells 5 gemeinsam als "Zustände" bezeichnet) vorab in der Lernregelungseinheit 6 abgespeichert. Wenn die Zustände für das geregelte Objekt 1 in die Lernregelungseinheit 6 eingegeben wurden, bezieht sich diese auf die abgespeicherte Beziehung zwischen den Parametern und den Zuständen und schätzt Werte für die Parameter auf Grundlage der Zustände im Einstellpunkt ab. Wenn die Struktur des Modells 5 für das geregelte Objekt 1 relativ genau ist, können Werte für die Parameter in diesem Zeitpunkt mit hoher Genauigkeit erhalten werden.

45

Fig. 1B ist ein Konfigurationsdiagramm, gemäß dem dafür gesorgt wird, daß die Lernregelungseinheit 6 lernt und die Beziehung zwischen den Parametern und den Zuständen abspeichert. Der Eingangszustand des Regelungsmodells 5 wird durch einen Eingangszustand-Veränderungsabschnitt 7 festgelegt, und Parameterwerte werden durch einen Parameterveränderungsabschnitt 8 verändert, wodurch eine Simulation ausgeführt wird. Als Ergebnis der Simulation durch das Regelungsmodell 5 wird ein Ausgangszustand 9 erhalten, der sich abhängig von einer Änderung eines Parameterwertes ändert. Die Beziehung zwischen den Parameterwerten und den Zuständen des Regelungsmodells 5 wird in der Lernregelungseinheit 6 abgespeichert. Ein mehrschichtiger Neurocomputer mit funktionellem Interpolationsvermögen (Vielzweckfähigkeit) kann als Lernregelungseinheit 6 verwendet werden.

55

Das Konfigurationsdiagramm für die gesamte Regelungseinheit, wenn ein mehrschichtiger Neurocomputer für die Lernregelungseinheit 6 verwendet wird, ist in Fig. 2 dargestellt. Ein Neurocomputer ist im einzelnen in "The Introduction and Practice of the Neurocomputer" beschrieben, herausgegeben von Kaoru Nakamura, Gijutsu Hyoronsha, vom 15. September 1990, weswegen nur derjenige Teil des Neurocomputers beschrieben wird, der in Beziehung zur Erfindung steht.

60

Ein Neurocomputer wird durch ein neuronales Netzwerk 10, einen Lernmechanismus 11 und einen Speicher 20 aufgebaut, wobei der Lernmechanismus 11 das "Lernen" und die "Ideeenerzeugung" steuert. Wie in Fig. 11 dargestellt, erhält, wenn ein bestimmter Parameterwert (z. B. ein Reibungskoeffizient u_i) an das Regelungsmodell 5 zum Zeitpunkt des Lernens vom Parameteränderungsabschnitt 8 ausgegeben wurde, dieses Regelungsmodell

65

dell 5 die Ausgangszustände, wie die für den Druck P , die Drehzahl V_p , die Plattendicke h und die Zugspannung τ_f auf Grundlage der Eingangszustände vom Eingangszustand-Änderungsabschnitt 7, wie des Drehzahlsollwerts V_i , der Zusammenpreßposition und des Drucksollwerts P_i , und es gibt diese Ausgangszustände an die Eingangsschicht des neuronalen Netzwerks 10 aus. Ferner werden die Eingangszustände an die Eingangsschicht gegeben,

- 5 und die Parameter werden als Lehrersignal an die Ausgangsschicht gegeben. Der Lernmechanismus 11 lernt durch Einstellen dieser Daten. Wenn das neuronale Netzwerk 10 sich in einer Einstellung zum Lernen befindet, wird eine Zufallszahl oder ein geeigneter Zahlenwert an den Gewichtungskoeffizienten des neuronalen Netzwerks 10 gegeben. Daher wird ein Ausgangswert 13 geeigneter Größe in den Lernmechanismus 11 eingegeben. Andererseits werden die Parameter, die vom Parameteränderungsmechanismus 8 ausgegeben werden, als
- 10 Lehrersignal in den Lernmechanismus 11 eingegeben. Der Lernmechanismus 11 korrigiert den Gewichtungskoeffizienten des neuronalen Netzwerks 10 so, daß die quadratische Abweichung zwischen dem Ausgangswert des Parameteränderungsmechanismus 8 und dem Ausgangswert des neuronalen Netzwerks 10 minimal wird. Wenn ein Satz eines Eingangswertes 12 und eines Ausgangswertes 9 des Regelungsmodells 5 in das neuronale Netzwerk 10 eingegeben wurde, stimmt der Ausgangswert 13 mit den Ausgangswerten des Parameteränderungsmechanismus 8 überein. Dies wird als Lernvorgang des neuronalen Netzwerks bezeichnet. Infolgedessen können der Eingangszustand und der Ausgangszustand für jeden Parameterwert u_1, u_2, \dots, u_n und eine Gewichtungsmatrix W des neuronalen Netzwerks erhalten werden, wie dies in Fig. 12 dargestellt ist. Diese Daten werden in einem Speicher 20 abgelegt, wie dies in Fig. 13 dargestellt ist.

Bei der obigen Beschreibung wurde nur der Parameter u_i zum Vereinfachen der Erläuterung verwendet. Es können auch mehrere Parameter gelernt werden, und in diesem Fall können ein Eingangszustand, ein Ausgangszustand und eine Gewichtungsmatrix für jede Kombination von Parameterwerten auf dieselbe Weise, wie oben beschrieben, erhalten werden.

Im Lernmechanismus 11 werden nach dem Beenden des Lernvorgangs Eingangszustände, wie V_i und P_i , des geregelten Objektes 1 sowie Ausgangszustände 15, wie P, V_R, R und τ_f , des geregelten Objekts 1 statt des Eingangswertes 12 des Regelungsmodells 5 bzw. statt des Ausgangswertes 9 des Regelungsmodells 5 in die Eingangsschicht 5 des neuronalen Netzwerks 10 eingegeben, das ein Strukturelement des Lernmechanismus 11 bildet, wie dies in Fig. 14 dargestellt ist. Dann liest der Lesemechanismus, abhängig vom eingegebenen Eingangszustand und vom eingegebenen Ausgangszustand die Gewichtungsmatrix W aus dem Speicher 20 aus und gibt diese an das neuronale Netzwerk 10, damit dieses einen Ausgangswert ermittelt. Es gibt dann den erhaltenen Ausgangswert als Parameterwert, z. B. v_i , des geregelten Objektes 1 an das Regelungsmodell 5 aus. Wenn das Regelungsmodell 5 durch diesen Parameterwert verändert wurde, ändern sich die Sollwerte des Sollwerteinstellsystems 4 entsprechend. Die veränderten Sollwerte, wie V_p' und S_p' werden in die Regelungseinheit 2 eingegeben.

Andererseits erhält das Regelungssystem-Entwurfssystem auf Grundlage des veränderten Regelungsmodells 5 Rückkopplungskoeffizienten f_{11} bis f_{24} und gibt diese an die Regelungseinheit 2 aus. Letztere ermittelt Sollwertabweichungen auf Grundlage der Rückkopplungskoeffizienten und der Sollwerte und gibt das Ergebnis an die Regelungseinheit 2 zurück. Nachdem diese die Sollwerte und den Rückkopplungswert für den Ausgangswert des geregelten Objektes 1 erhalten hat, gibt sie einen Befehl an das geregelte Objekt 1 aus. Der Befehl 14 der Regelungseinheit 2, bei dem es sich um den Eingangszustand des geregelten Objektes 1 handelt und der Ausgangszustand 14, bei dem es sich um den Ausgangszustand des geregelten Objektes 1 handelt, werden in den Lernmechanismus 11 eingegeben.

Der Ablauf gemäß der obigen Vorgehensweise wird unter Bezugnahme auf die Fig. 15 und 16 näher erläutert.

Fig. 15 ist ein Flußdiagramm zum Veranschaulichen des Lernablaufs in der Lernregelungseinheit 6. Zum Zeitpunkt eines Lernvorgangs werden Parameterwerte, die das Ergebnis von Parameterwerten sind, die durch den Parameteränderungsabschnitt 8 verändert wurden, zunächst in einem Schritt 101 in das Regelungsmodell 5 eingegeben. Dann führt das Regelungsmodell 5 eine Simulation auf Grundlage der eingegebenen Parameterwerte aus und erhält in einem Schritt 102 eine Eingangs/Ausgangs-Beziehung für das Regelmodell 5. In einem Schritt 103 wird eine Entscheidung dahingehend getroffen, ob Lernen für eine erforderliche Anzahl ausgeführt wurde oder nicht. Die obigen Schritte 101 und 102 werden wiederholt, bis der Lernvorgang abgeschlossen ist. Danach wird die Regelung auf Grundlage des Lernergebnisses ausgeführt. Der Verarbeitungsablauf ist durch das Flußdiagramm von Fig. 16 veranschaulicht.

Gemäß Fig. 16 werden in einem Schritt 110 der Eingangszustand und der Ausgangszustand eines geregelten Objektes 1 zum Zeitpunkt des Ausführens der Regelung in die Lernregelungseinheit 6 eingegeben. In einem Schritt 111 erhält die Lernregelungseinheit Parameterwerte für den Zeitpunkt, zu dem die Regelung für das Objekt ausgeführt wird, und gibt diese Werte an das Sollwerteinstellsystem 4 und das Regelungsmodell 5 aus. Anschließend legt das Regelungssystem-Entwurfssystem 3 in einem Schritt 112 einen Rückkopplungsparameterwert und einen Steuerungsparameterwert für die Regelungseinheit 2 unter Verwendung des Regelungsmodells 5 fest. In einem Schritt 113 empfängt das Sollwerteinstellsystem die im Schritt 111 ausgegebenen Parameterwerte, legt einen Sollwert fest und gibt diesen an die Regelungseinheit 2 aus.

Die Fig. 17A bis 17C zeigen Beispiele für den Ablauf, wenn eine Anordnung gemäß der vorstehend beschriebenen Konfiguration vorliegt. Fig. 17A zeigt ein Beispiel für den Ablauf zum Zeitpunkt des Lernens, bei dem der Eingangszustand und der Ausgangszustand für das Regelungsmodell 5 erhalten werden. Fig. 17B zeigt die Beziehung zwischen den Parametern und den in Fig. 17A erhaltenen Zuständen. Anders gesagt, zeigt Fig. 17B eine Funktion der Zustände der Parameter des Regelungsmodells 5. Das neuronale Netzwerk 10 ist so ausgebildet, daß es die Zustände lernt, die in die Eingangsschicht eingegeben werden, und die Parameter werden von der Ausgangsschicht ausgegeben.

Die Fig. 18A bis 18D zeigen, wie das neuronale Netzwerk 10 zu verwenden ist, wenn ein Vorgang nach Abschluß des Lernens ausgeführt wird. Wenn die Zustände des in Fig. 18A dargestellten geregelten Objektes 1

in das neuronale Netzwerk 10 eingegeben wurden, werden Parameterwerte ausgegeben, die das Ergebnis des Lernens im Regelungsmodell 5 zu diesem Zeitpunkt sind. Dies wird als invertierte Sollwerteinstellung bezeichnet. Die Ausgangsinformation des neuronalen Netzwerks 10 zeigt zum Zeitpunkt der Betriebsweise mit geregelter Objekt 1 optimale Parameterwerte des Regelungsmodells 5. Wenn die Parameterwerte in das Regelungsmodell 5 eingegeben wurden, führt dieses einen Ablauf aus, der beinahe derselbe ist wie die Betätigung des geregelten Objektes 1. Infolgedessen geben das Sollwerteinstellsystem und das Regelungssystem-Entwurfssystem optimale Sollwerte sowie die Konfiguration für das Regelungssystem oder die Parameterwerte für dieses aus, um es dadurch zu ermöglichen, die Regelabweichungen zu verringern.

Beim oben beschriebenen Ausführungsbeispiel ist es, wenn die Parameterwerte, wie sie durch den inversen Sollwerteinstellvorgang des neuronalen Netzwerks erhalten wurden, nicht korrekt sind, auch angemessen, neue Parameterwerte direkt vorzugeben, wie sie vom Parameteränderungsabschnitt ausgegeben werden und diese an das Regelungsmodell 5 zu liefern.

Nachfolgend wird beschrieben, wie die Rückkopplungskoeffizienten $f_{11}, f_{12}, f_{13}, f_{14}, f_{21}, f_{22}, f_{23}$ und f_{24} gemäß moderner Regelungstheorie erhalten werden (z. B. "The Modern Control Engineering" von T. Tsuchiya und T. Ikegami, Sangyo Tosyo, April 1991, S. 141 – 152).

In der Walzkraftfunktion (Verformungskurve des zu walzenden Objektes) sind Drehzahlterme vorhanden, wie in den Gleichungen (1) bis (3) dargestellt.

Die Beziehung zwischen der Geschwindigkeit des zu walzenden Objektes und der Zugspannung desselben zwischen zwei Walzenpaaren (zwischen der (i-1)-ten und der i-ten Position), wie in Fig. 19 dargestellt, wird wie folgt ausgedrückt:

$$\frac{dt}{dt} = \frac{Ebh}{L} (V_{ei} - V_{oi-1})$$

wobei τ die Zugspannung zwischen der (i-1)-ten und der i-ten Position ist, wobei diese Zugspannung τ_b ist, wenn von der i-ten Position aus gesehen L der Abstand zwischen den Positionen ist, E ein Youngscher Modul ist, b die Breite des gewalzten Objektes ist, V_{ei} die Geschwindigkeit des gewalzten Objektes an der Eingangsseite der i-ten Position ist und V_{oi-1} die Geschwindigkeit des gewalzten Objektes an der Ausgangsseite der (i-1)-ten Position ist. Durch Einsetzen der obigen Beziehung in die oben angegebene Gleichung (1) und andere können die folgenden Wechselbeziehungsgleichungen erhalten werden:

$$\frac{dh}{dt} = g_1(h, \tau_f, V_R, p, V_p, S_p, t) \quad (5)$$

$$\frac{d\tau_f}{dt} = g_2(h, \tau_f, V_R, p, V_p, S_p, t) \quad (6)$$

$$\frac{dV_R}{dt} = g_3(h, \tau_f, V_R, P, V_p, S_p, t) \quad (7)$$

$$\frac{dP}{dt} = g_4(h, \tau_f, V_R, P, V_p, S_p, t) \quad (8)$$

Auf Grundlage eines Druckgleichgewichtes usw. werden Sollwerte τ_{f0}, h_0, V_{R0} sowie P_0 erhalten. Die Gleichungen (5) bis (8) werden einer Taylor-Entwicklung um die Sollwerte unterzogen. Die Taylor-Entwicklung wird in diesem Fall nur für die Gleichung (5) ausgeführt, während eine Taylor-Entwicklung für die Gleichungen (6) bis (8) entfällt.

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt}(h_0 + \Delta h) &= \frac{dh_0}{dt} + \frac{d\Delta h}{dt} \\ &= g_1(g_0 + \Delta h, \tau_{f0} + \Delta \tau_f, V_{R0} + \Delta V_R, P_0 + \Delta P, V_p + \Delta V_p, S_p + \Delta S_p) \\ &= g_1(h_0, \tau_{f0}, V_{R0}, P_0, V_p, S_p, t) \\ &+ \left(\frac{\partial g_1}{\partial h}\right) \Delta h + \left(\frac{\partial g_1}{\partial \tau_f}\right) \Delta \tau_f + \left(\frac{\partial g_1}{\partial V_R}\right) \Delta V_R + \left(\frac{\partial g_1}{\partial P}\right) \Delta P + \left(\frac{\partial g_1}{\partial V_p}\right) \Delta V_p + \left(\frac{\partial g_1}{\partial S_p}\right) \Delta S_p + \epsilon \quad (9) \end{aligned}$$

Durch Einsetzen der Gleichung (5) in die Gleichung (9) wird ein Differenzausdruck erhalten.
 $\frac{\partial g_1}{\partial h}$ und andere sind Einflußkoeffizienten.

$$\frac{dh}{dt} = \left(\frac{\partial g_1}{\partial h}\right) \Delta h + \left(\frac{\partial g_1}{\partial \tau_f}\right) \Delta \tau_f + \left(\frac{\partial g_1}{\partial V_R}\right) \Delta V_R + \left(\frac{\partial g_1}{\partial P}\right) \Delta P + \left(\frac{\partial g_1}{\partial V_p}\right) \Delta V_p + \left(\frac{\partial g_1}{\partial S_p}\right) \Delta S_p \quad (10)$$

In den Gleichungen (5) bis (10) ist Δh die Plattendicke-Regelabweichung, $\Delta \tau_f$ eine Vorderseitenzugsspannungsregelabweichung, ΔV_R eine Geschwindigkeitsregelabweichung, ΔP eine Druckregelabweichung, ΔV_p eine

DE 43 01 130 A1

Drehzahlsollwert-Regelabweichung und ΔS_p eine Zusammenpreßposition-Sollwertregelabweichung. Partielle Differenzierung wurde um die Einstellwerte herum ausgeführt, wie sie durch die folgenden Einstellungen erhalten wurden: $h = H_0$, $\tau_f = \tau_{f0}$, $V_p = V_{p0}$, $P = P_0$ und $S_p = S_{p0}$. Nachfolgend wird eine Zustandsvariable x durch Vektorausdrücke wiedergegeben:

$$5 \quad x = [\Delta h, \Delta \tau_f, \Delta V_R, \Delta P]^T u = [\Delta S_p, \Delta V_p]^T$$

Wenn das Folgende gilt

$$10 \quad a_{11} = \left(\frac{\partial g_1}{\partial h} \right), \quad a_{12} = \left(\frac{\partial g_1}{\partial \tau_f} \right), \quad a_{13} = \left(\frac{\partial g_1}{\partial V_R} \right), \quad a_{14} = \left(\frac{\partial g_1}{\partial P} \right), \quad b_{11} = \left(\frac{\partial g_1}{\partial V_p} \right), \quad b_{12} = \left(\frac{\partial g_2}{\partial S_p} \right),$$

kann die Gleichung (10) wie folgt ausgedrückt werden:

$$15 \quad \frac{dh}{dt} = a_{11} \Delta h + a_{12} \Delta \tau_f + a_{13} \Delta V_R + a_{14} \Delta P + b_{11} \Delta S_p + b_{12} \Delta V_p$$

$$20 \quad = [a_{11} \ a_{12} \ a_{13} \ a_{14}] \begin{bmatrix} \Delta h \\ \Delta \tau_f \\ \Delta V_R \\ \Delta P \end{bmatrix} + [b_{11} \ b_{12}] \begin{bmatrix} \Delta S_p \\ \Delta V_p \end{bmatrix}$$

$$25 \quad = [a_{11} \ a_{12} \ a_{13} \ a_{14}] + [b_{11} \ b_{12}] u. \quad (11)$$

Auf ähnliche Weise können die folgenden Gleichungen erhalten werden.

$$30 \quad \frac{d\tau_f}{dt} = [a_{21} \ a_{22} \ a_{23} \ a_{24}] x + [b_{21} \ b_{22}] u \quad (12)$$

$$\frac{dV_R}{dt} = [a_{31} \ a_{32} \ a_{33} \ a_{34}] x + [b_{31} \ b_{32}] u \quad (13)$$

$$35 \quad \frac{dP}{dt} = [a_{41} \ a_{42} \ a_{43} \ a_{44}] x + [b_{41} \ b_{42}] u \quad (14)$$

Die Gleichungen (11) bis (14) werden wie folgt zusammengefügt:

$$40 \quad \frac{dx}{dt} = \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \Delta h \\ \Delta \tau_f \\ \Delta V_R \\ \Delta P \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} \\ b_{21} & b_{22} \\ b_{31} & b_{32} \\ b_{41} & b_{42} \end{bmatrix} u = A x + B u \quad (15)$$

Dies ist die erhaltene Gleichung. Auf Grundlage dieser Struktur kann ein Rückkopplungskoeffizient mit moderner Regelungstheorie erhalten werden.

Ein anderes Ausführungsbeispiel der Erfindung wird unter Bezugnahme auf die Fig. 21 und 22 erläutert. In den

50 Fig. 21 und 22 haben Elemente mit denselben Bezugszeichen, wie beim oben beschriebenen Ausführungsbeispiel, dieselben Funktionen; sie werden nicht mehr erläutert. Beim vorliegenden Ausführungsbeispiel werden Parameterwerte auf Grundlage von Kurzzeitdaten und Langzeitdaten für den Eingangszustand/Ausgangszustand des geregelten Objektes festgelegt.

Wie oben beschrieben, ist es erforderlich, Koeffizienten für optimale Rückkopplung zu verändern, wenn sich Parameterwerte der Verformungskurve des Objektes beim Walzen (die Walzkraftfunktion) verändert haben.

Es bestehen viele Faktoren für eine Änderung der Verformungskurve des gewalzten Objekts. Selbst wenn gewalzte Objekte dieselben Spezifikationen für dieselbe Komponente, dieselbe Plattendicke, dieselbe Plattenbreite usw. aufweisen, unterscheiden sich die Verformungskurven dieser gewalzten Objekte abhängig davon, ob z. B. die Walzen neu sind, wie direkt nach einem Austausch, oder ob sie alt und abgenutzt sind. In diesem Fall ändern sich die Eigenschaften jedoch allmählich. Genauer gesagt, wird ein Neuralablauf für jeden Walzvorgang nach dem Auswechseln der Walzen ausgeführt und Eigenschaftsdaten werden im Speicher (siehe 304 in den Fig. 20 und 21) eingeschrieben, bei denen es sich um aktuelle Langzeitdaten Ps mit gewichtetem Mittelwert handelt, und Berechnungen für den gewichteten Mittelwert werden während des Walzvorgangs unter Verwendung von Parameterwerten ausgeführt.

65 Da sich in diesem Fall die Verformungskurven der gewalzten Objekte abhängig von den Walzgeschwindigkeiten selbst dann ändern, wenn es sich bei den gewalzten Objekten um dieselben Stahltypen handelt und sie dieselben Spezifikationen aufweisen, werden Parameterwerte für jeden Betriebszustand abgespeichert, z. B. für Beschleunigungsbetrieb, Verzögerungsbetrieb und Gleichlaufbetrieb.

Die aktuellen Langzeitdaten sind Daten für den Eingangs- und Ausgangszustand eines geregelten Objektes, wie sie für geregelte Objekte (z. B. geregelte Objekte 1, 2, ..., n) mit denselben Spezifikationen für denselben Stahltyp für jeden Zustandswert erhalten werden, wie für jeden Drehzahlwert V_1, V_2 usw. Die so erhaltenen aktuellen Langzeitdaten werden neural verarbeitet (mit inverser Einstellung), und es werden Parameterwerte für jeden Zustandswert erhalten.

Bei einer tatsächlichen Walzstraße ändern sich Einflüsse für die Reibung, wie die Grobheit der Walzen (Ausmaß des Abriebs) und die Dichte des Walzöls zeitabhängig, und demgemäß ändern sich die Eingangs/Ausgangs-Zustände entsprechend. Da jedoch aktuelle Langzeitdaten durch Mitteln derartiger Änderungen gewonnen werden, zeigen diese Daten nach dem Mitteln keine momentanen Änderungen für die Koeffizienten. Indessen enthalten die Daten an der Ausgangsseite der Walzstraße viele Störsignale, weswegen es erforderlich ist, diese Störsignale zu entfernen, bevor eine inverse Einstellung erfolgt.

Beim Bearbeiten der aktuellen Langzeitdaten werden Störsignale dadurch eliminiert, daß Daten für viele gewalzte Objekte verwendet werden.

Aktuelle Kurzzeittaten sind Eingangs/Ausgangs-Daten eines Paars gewalzter Objekte bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten V_1 bis V_n während einer kurzen Zeitspanne. Demgemäß können Datenwerte erhalten werden, die zeitliche Änderungen reflektieren, wie Momentändaten für die Koeffizienten. Aus den aktuellen Kurzzeittaten werden Störsignale auf ähnliche Weise vor einer inversen Einstellung entfernt (siehe Block 308 in Fig. 21). Um Störsignale sicher zu entfernen, ist es erforderlich, die aktuellen Langzeitdaten zu mitteln. Wenn jedoch die Datensammelperiode länger gewählt wird, um die aktuellen Daten zu mitteln, unterscheiden sich die Geschwindigkeitszustände, wie die Zustände mit Beschleunigung, Verzögerung und Gleichlauf. Daher kann die Datensammelperiode nicht allzu lange sein. Demgemäß besteht die Möglichkeit, daß der Parameter Pa , wie er bei der inversen Einstellung unter Verwendung des Neuralablaufs erhalten wird, Störsignale enthält.

Anders gesagt, reflektiert der Parameterwert Pa , wie er aus den aktuellen Kurzzeittaten gewonnen wird, die Zustände des aktuellen Betriebs, wird jedoch leicht von Störsignalen beeinflußt.

Andererseits wird der aus den aktuellen Langzeitdaten erhaltene Parameterwert Ps nicht so einfach von Störsignalen beeinflußt, reflektiert jedoch nicht momentane Zustandsänderungen der Walzstraße.

Dadurch wird die folgende Parameteroperation ausgeführt, und sowohl die Langzeit- als auch die Kurzzeittaten werden verwendet (siehe Block 320 in Fig. 21).

$$P = \alpha Pa + (1 - \alpha) Ps.$$

In diesem Fall nimmt α einen Wert zwischen 0 und 1 an. Wenn α näher bei 1 eingestellt wird, werden die Kurzzeittaten hervorgehoben und die Langzeitdaten vernachlässigt. Wenn α auf 0 gesetzt wird, werden die Langzeitdaten hervorgehoben und die Kurzzeittaten verworfen.

Ein kleiner Wert von α wird dann gewählt, wenn die Anzahl von Daten groß ist, die zum Erhalten der Langzeitdaten verwendet wurden und wenn der Walzlauf stabil ist.

Ein großer Wert von α wird dann verwendet, wenn keine Langzeitdaten vorliegen oder wenn die Walzen gerade ausgetauscht wurden, da dann eine große Differenz für die Parameterwerte für diese neuen Walzen und den Langzeitdaten besteht oder wenn ein zuvor nie verwendetes Stahlmaterial verwendet wird.

Ein Beispiel für einen Ablauf mit der obigen Struktur wird unter Bezugnahme auf Fig. 20 erläutert. Daten für das $(n-1)$ -te gewalzte Objekt, wie sie den Werten für die verschiedenen Geschwindigkeiten, einschließlich Beschleunigung, Verzögerung und Gleichlauf sowie Langsamlauf entsprechen, werden gesammelt, und diese Daten werden mit ähnlichen Daten zusammengefügt, wie sie für die Walzläufe für das erste bis $(n-2)$ -te gewalzte Objekt erhalten wurden. Die so zusammengesetzten Daten werden neural verarbeitet (inverse Sollwerteinstellung), und der Parameterwert Ps für die aktuellen Langzeitdaten wird erhalten, wie dies im Block 302 dargestellt ist. Der Parameter Ps wird für jede Spezifikation jedes Betriebszustandes in einer Parametertabelle 304 abgespeichert.

Wenn der Walzvorgang für das n -te gewalzte Objekt beginnen soll, ermittelt das neuronale Netz den Parameterwert Pa unter Verwendung der aktuellen Kurzzeittaten, wie dies in einem Block 310 dargestellt ist.

Unter Verwendung der Parameterwerte Ps und Pa wird die obige Operation $P = \alpha Pa + (1 - \alpha) Ps$ ausgeführt, um den Parameterwert P für diesen Zeitpunkt abzuschätzen. Unter Verwendung des Wertes P wird das Regelungsmodell 5 verändert und die Sollwerteinstellung ausgeführt. Gleichzeitig ermittelt das Regelungssystem-Entwurfshilfsmittel 3 die Rückkopplungsparameter $f_{11}, f_{12}, f_{13}, f_{14}, f_{21}, f_{22}, f_{23}$ und f_{24} für optimale Regelung auf Grundlage des Regelungsmodells 5 und gibt diese Rückkopplungsparameter an das Regelungssystem 2 weiter. Das Regelungssystem 2 ermittelt eine Sollwert-Regelungsabweichung aus den Zuständen der Walzstraße und aus den Rückkopplungsparametern, addiert die Sollwerte zu den Sollwerten für die Sollwert-Regelungsabweichungen und erzeugt einen Stellwert für die Walzstraße.

Infolgedessen kann das Regelungssystem einen Stellwert erzeugen, der für den Betrieb der Walzstraße geeignet ist, und mit dem demgemäß ein zufriedenstellendes Ergebnis erzielt werden kann.

Wie oben beschrieben, ist es erfundungsgemäß möglich, Parameterwerte des Regelungsmodells genau festzulegen. Daher kann der Einfluß von Koeffizienten, wie db/dh , selbst dann, wenn sich Parameterwerte und die Verformungskurve des gewalzten Objekts verändert haben, wie in Fig. 24 dargestellt, genau bestimmt werden, wie in Fig. 25 gezeigt. Infolgedessen können korrekte Rückkopplungskoeffizienten für verbesserte Regelungsfähigkeit erhalten werden.

Für die Dickenregelung bei einer Walzstraße, bei der sich Sollwerte stark ändern, ist es schwierig, Modellparameter für ein geregeltes Objekt zu jedem Zeitpunkt des Walzvorgangs festzulegen. Weil sich Parameterwerte aufgrund verschiedener Faktoren ändern, war es mit dem herkömmlichen Verfahren unmöglich, ein genaues Regelungsmodell zu konstruieren. Dies war selbst dann nicht in vollem Umfang möglich, wenn moderne

Regelungstheorie angewendet wurde, die die Leistungsfähigkeit verbessern kann, wenn das Regelungsmodell korrekt ist. Unter Verwendung der Erfahrung, speziell der beschriebenen Ausführungsbeispiele, ist es jedoch möglich, ein genaues Regelungsmodell zu erzeugen, das auf ein zu regelndes Objekt mit stark nichtlinearen Eigenschaften angewendet werden kann, und daher ist es auch möglich, die Leistungsfähigkeit der Regelung zu verbessern.

Demgemäß ist es mit der Erfahrung möglich, den Genauigkeitsgrad der Sollwerteinstellung zu verbessern, mit der Sollwerte für ein stark nichtlineares Objekt eingestellt werden, wobei ein zufriedenstellendes Regelungsergebnis erzielt wird.

10

Patentansprüche

1. Verfahren zum Regeln eines Objektes (1), um Stellwerte an Stellglieder (213, 214) auszugeben, die das zu regelnde Objekt (1) so steuern, daß dieses einen gewünschten Ablauf ausführt, gekennzeichnet durch die folgenden Schritte:
 - Erstellen einer Beziehung zwischen jeweiligen Werten von Parametern eines Modells (5) für das geregelte Objekt (1) und Eingangs/Ausgangs-Zustandswerten des Modells (5) durch Lernen (6), und Einspeichern der als Ergebnis des Lernvorgangs erhaltenen Beziehung in eine Speichereinrichtung (20);
 - Festlegen von Parameterwerten des Modells (5) durch Bezugnahme auf das in der Speichereinrichtung (20) abgelegte Lernergebnis auf Grundlage von Eingangs/Ausgangs-Meßwerten des geregelten Objekts (1); und
 - Ermitteln von Stellwerten auf Grundlage der festgelegten Parameterwerte und Ausgeben der ermittelten Stellwerte an die Stellglieder (213, 214).
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Lernschritt (6) mit Hilfe eines neuronalen Netzwerks ausgeführt wird.
3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Festlegen der Parameterwerte unter Verwendung eines neuronalen Netzwerks ausgeführt wird.
4. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das geregelte Objekt (1) ein nichtlineares Regelungssystem ist.
5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß das geregelte Objekt (1) eine Walzstraße ist.
6. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß
 - das Modell (5) für das geregelte Objekt (1) ein Sollwert-Einstellmodell ist; und
 - der Schritt zum Ausgeben der Stellwerte an die Stellglieder (213, 214) die folgenden Schritte aufweist:
 - Festlegen von Sollwerten für Eingangs- und Ausgangsgrößen des geregelten Objektes (1) durch eine Sollwerteinstellung auf Grundlage der festgelegten Parameterwerte, Ermitteln der Sollwerte und Ausgeben derselben an die Stellglieder (213, 214); und
 - Vornehmen einer Regelung in solcher Weise, daß die vom geregelten Objekt als Ergebnis der Stellwerte ausgegebenen Ausgangszustände keine Regelabweichung gegenüber den Sollwerten aufweisen.
7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Schritt des Vornehmens der Regelung einen Schritt des Festlegens von Rückkopplungskoeffizienten auf Grundlage der festgelegten Parameterwerte enthält.
8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß der Schritt des Festlegens der Rückkopplungskoeffizienten einen Schritt des Ermittels von Einflußkoeffizienten auf Grundlage der festgelegten Parameterwerte und einen Schritt des Ermittels der Rückkopplungskoeffizienten auf Grundlage dieser Einflußkoeffizienten aufweist.
9. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Schritt des Festlegens der Parameterwerte einen Schritt des Festlegens von Parameterwerten auf Grundlage von Langzeit- und Kurzzeiteingangs/Ausgangs-Meßwerten des geregelten Objekts (1) enthält.
10. Regelungseinheit zum Regeln eines Objekts (1), zum Ausgeben von Stellwerten an Stellglieder (213, 214), die das zu regelnde Objekt (1) so steuern, daß dieses einen gewünschten Ablauf ausführt, gekennzeichnet durch:
 - eine Einrichtung (6) zum Erstellen einer Beziehung zwischen jeweiligen Parameterwerten eines Modells (5) für das geregelte Objekt (1) durch Lernen;
 - eine Einrichtung (20) zum Abspeichern des Lernergebnisses;
 - eine Einrichtung (6) zum Festlegen von Parameterwerten des Modells (5) unter Bezugnahme auf das in der Speichereinrichtung (20) abgespeicherte Lernergebnis auf Grundlage von Eingangs/Ausgangs-Meßwerten des geregelten Objekts (1); und
 - eine Einrichtung (2—4) zum Ermitteln von Stellwerten auf Grundlage der festgelegten Parameterwerte und zum Ausgeben der erhaltenen Stellwerte an die Stellglieder (213, 214).
11. Regelungseinheit nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Einheit (6) zum Lernen ein neuronales Netzwerk aufweist.
12. Regelungseinheit nach einem der Ansprüche 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Einrichtung (6) zum Festlegen von Parameterwerten ein neuronales Netzwerk aufweist.
13. Regelungseinheit nach einem der Ansprüche 10 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß das geregelte Objekt ein nichtlineares Regelungssystem ist.
14. Regelungseinheit nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß das geregelte Objekt eine Walzstraße

ist.

15. Regelungseinheit nach einem der Ansprüche 10 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß
— das Modell (5) für das geregelte Objekt (1) ein Sollwerteinstellmodell ist; und
- die Einrichtung (2—4) zum Ausgeben von Stellwerten an die Stellglieder (213, 214) folgendes aufweist:
— eine Einrichtung (4) zum Festlegen von Eingangs/Ausgangs-Sollwerten für das geregelte Objekt (1)
durch eine Sollwerteinstellung auf Grundlage der festgelegten Parameterwerte, zum Ermitteln der
Stellwerte und zum Ausgeben derselben an die Stellglieder (213, 214); und
— eine Einrichtung (3) zum Ausführen einer Regelung in solcher Weise, daß vom geregelten Objekt (1)
als Ergebnis der Stellwerte erhaltene Ausgangszustände keine Regelabweichung gegenüber den aus-
gegebenen Sollwerten aufweisen.
16. Regelungseinheit nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß die Einrichtung (3) zum Ausführen
der Regelung Regelungskoeffizienten auf Grundlage der festgelegten Parameterwerte festlegt.
17. Regelungseinheit nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß die Einrichtung zum Festlegen der
Rückkopplungskoeffizienten Einflußkoeffizienten auf Grundlage der festgelegten Parameterwerte ermit-
telt und die Rückkopplungskoeffizienten auf Grundlage der Einflußkoeffizienten ermittelt.
18. Regelungseinheit nach einem der Ansprüche 10 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß die Einrichtung zum
Festlegen der Parameterwerte dieselben auf Grundlage von Langzeit- und Kurzzeit-Eingangs/Ausgangs-
Meßwerten für das geregelte Objekt (1) festlegt.
19. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Stellwerte dadurch
erhalten werden, daß das Modell (5) aufgrund der festgelegten Parameterwerte verändert werden und die
Stellwerte auf Grundlage des veränderten Modells erhalten werden.
20. Regelungseinheit nach einem der Ansprüche 10 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß die Einrichtung
(2—4) zum Ermitteln der Stellwerte so ausgebildet ist, daß sie das Modell (5) auf Grundlage der festgelegten
Parameterwerte verändert und die Stellwerte auf Grundlage des veränderten Modells ermittelt.

Hierzu 16 Seite(n) Zeichnungen

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

- Leerseite -

FIG. I A

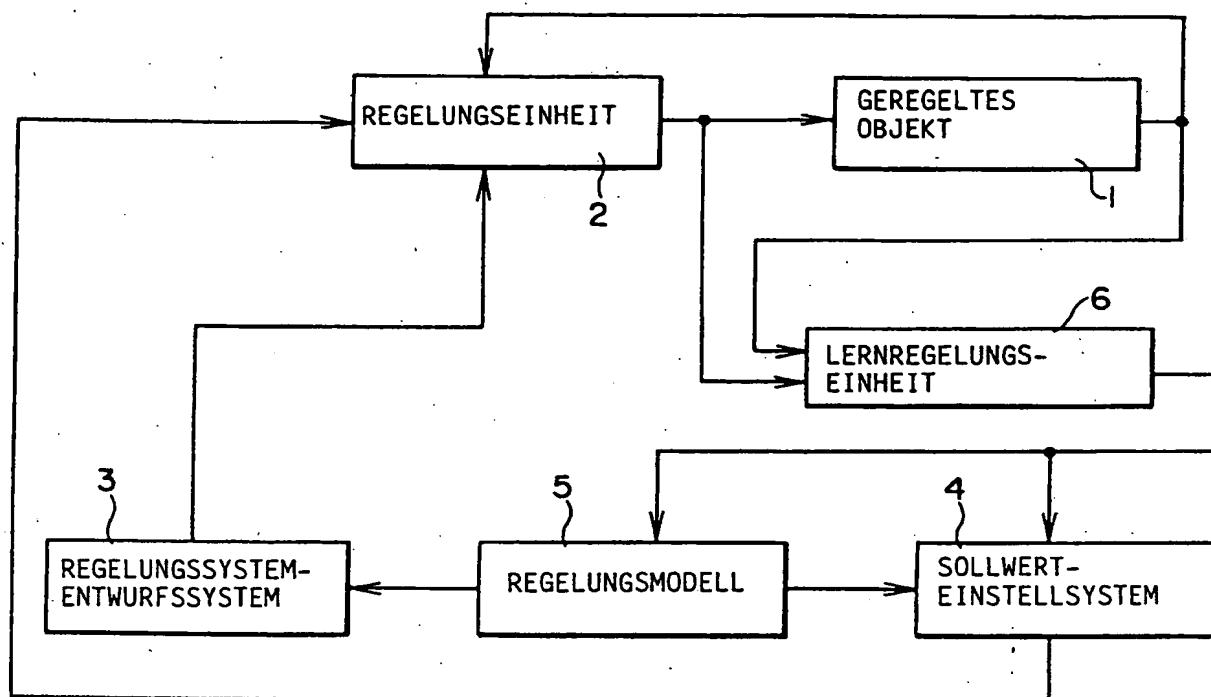


FIG. I B

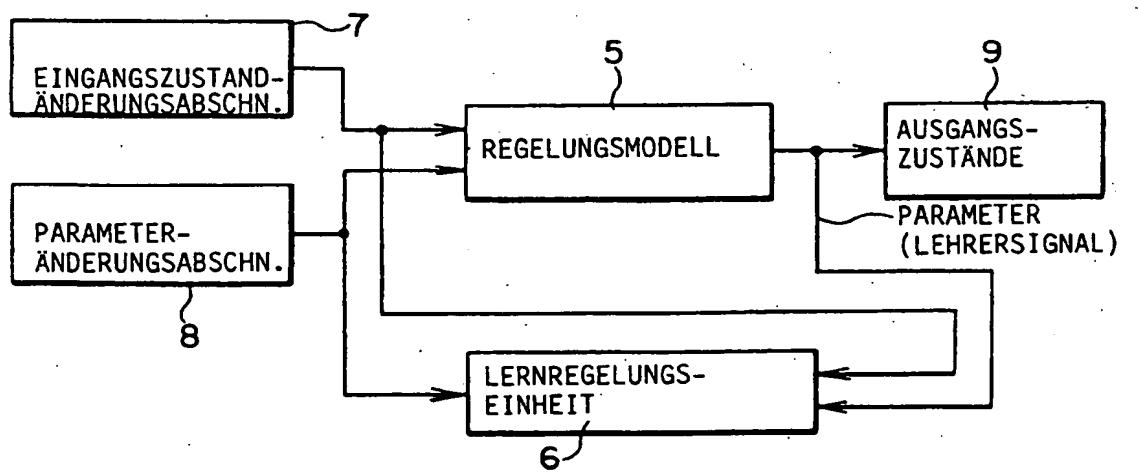


FIG. 2

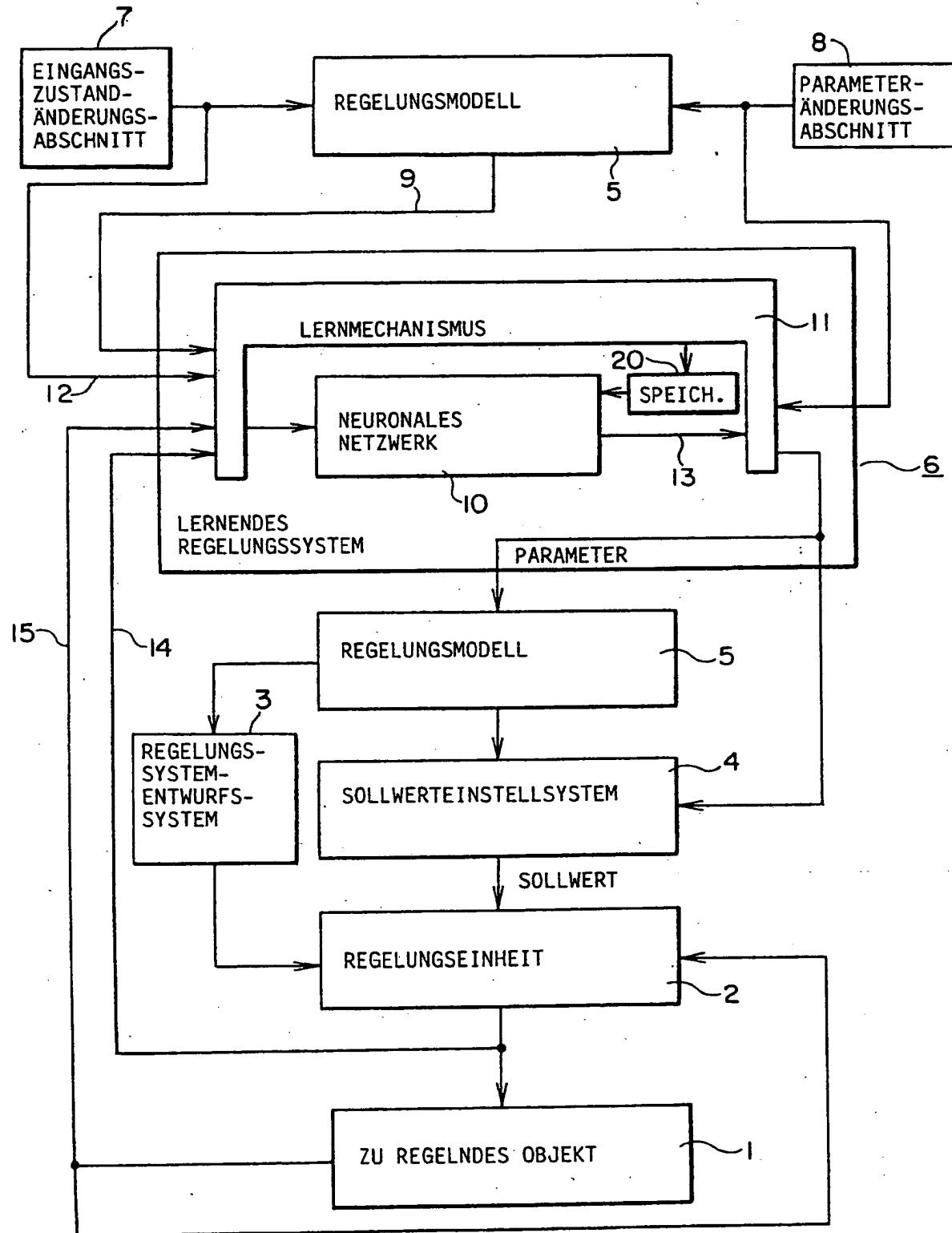


FIG. 3

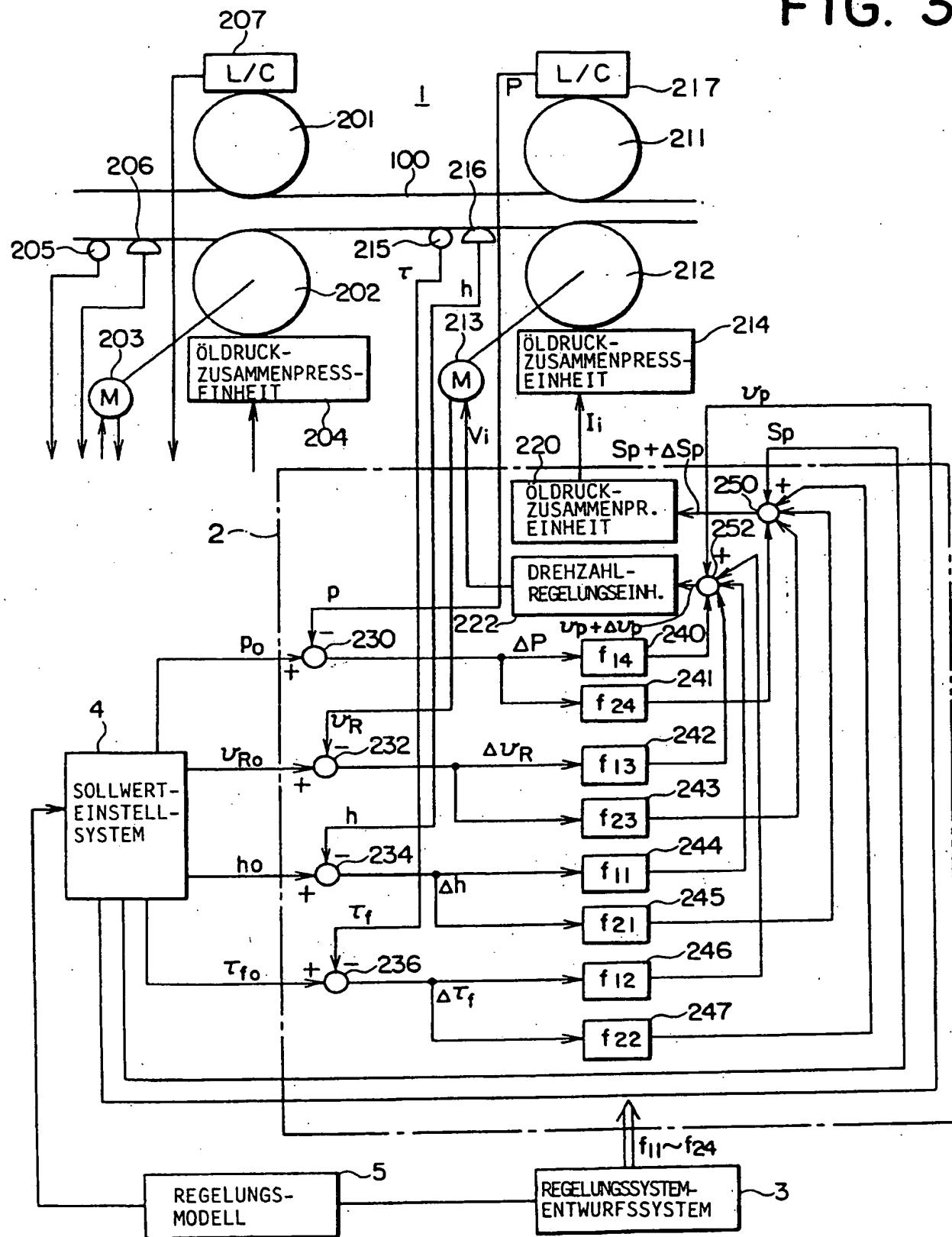


FIG. 4

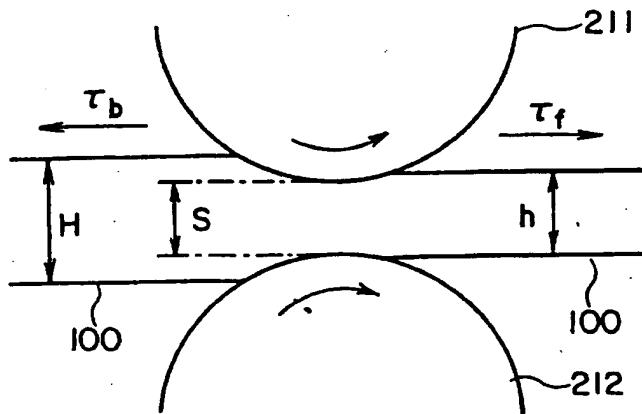


FIG. 5

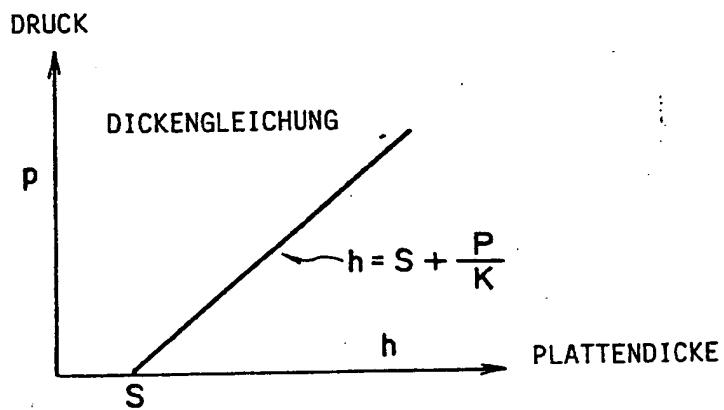


FIG. 6

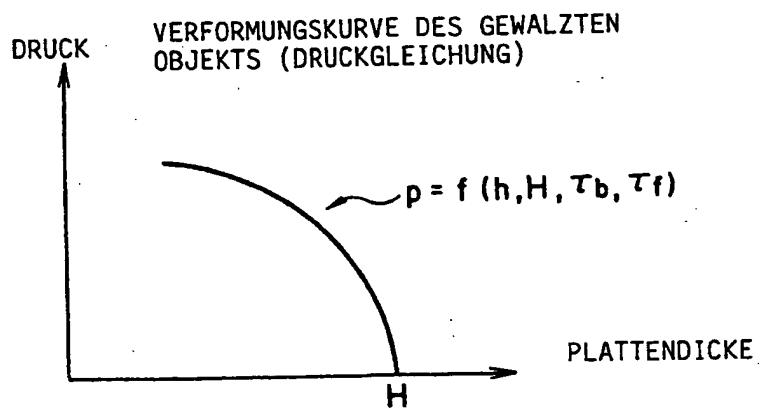


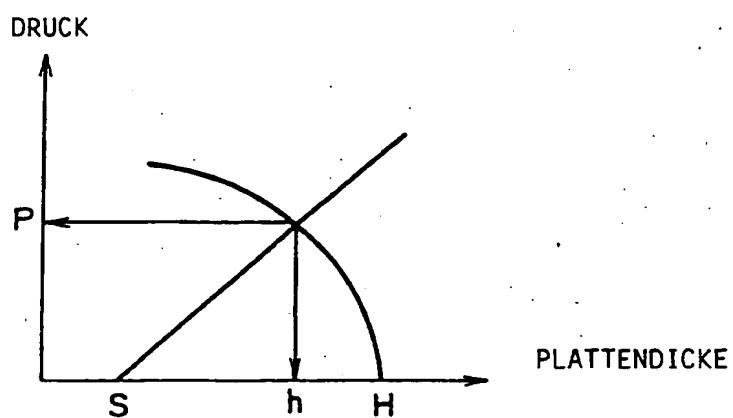
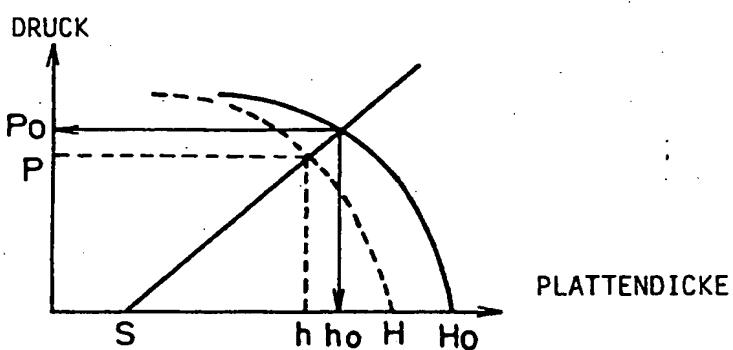
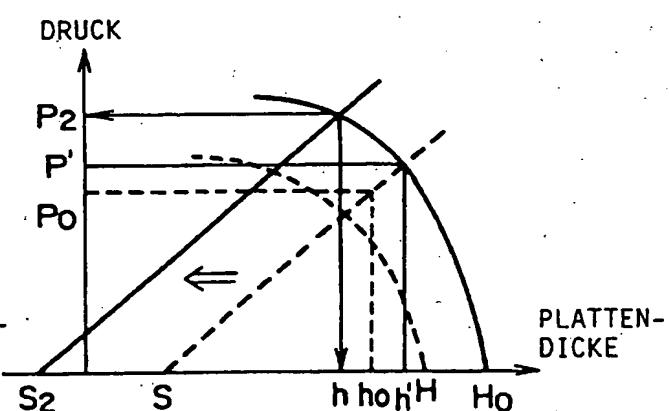
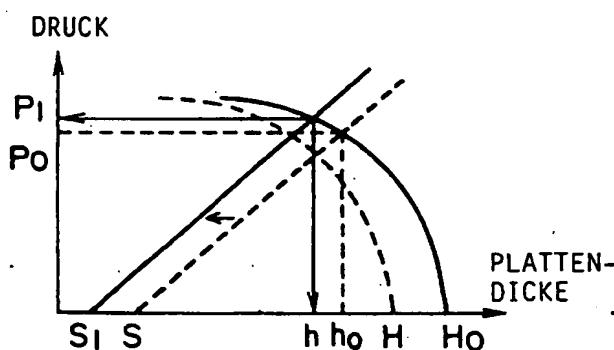
FIG. 7**FIG. 8****FIG. 10****FIG. 9**

FIG. 11

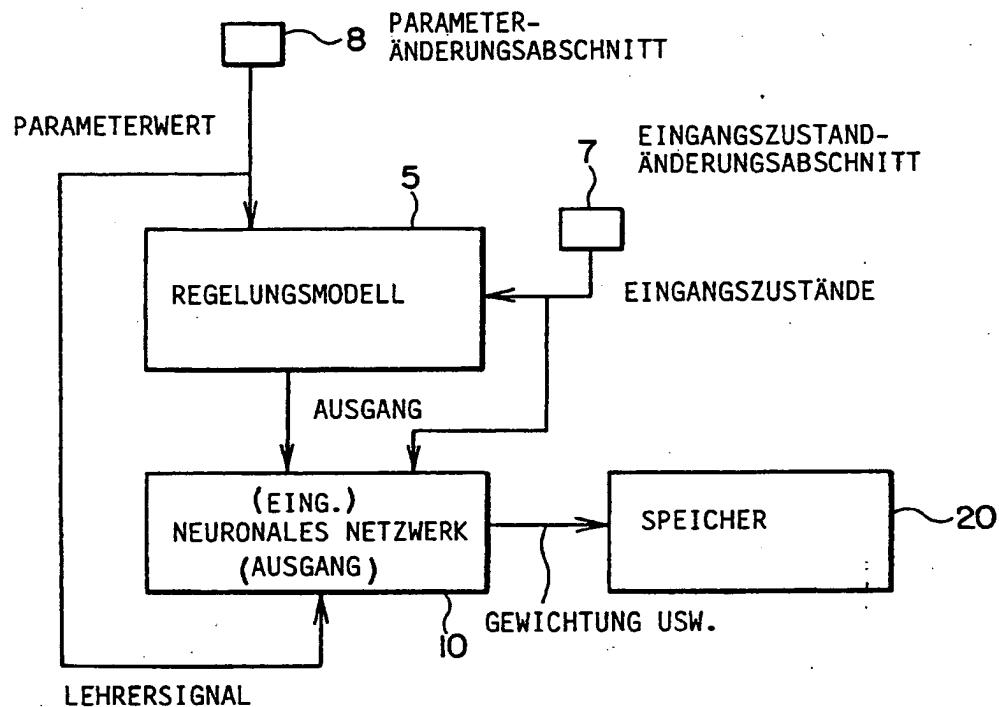


FIG. 12

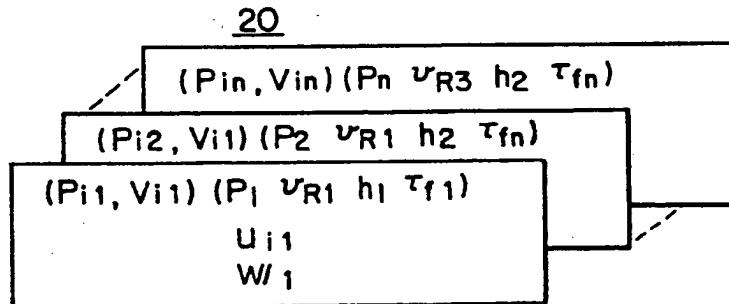


FIG. 13

P _{i1} , V _{i1}	P _i v _{R1} h ₁ τ _{f1}	U _{i1}	W _{i1}
P _{i2} , V _{i1}	P ₂ v _{R1} h ₂ τ _{f2}	U _{i2}	W _{i2}
⋮	⋮	⋮	⋮
P _{in} , V _{in}	P _n v _{R3} h _n τ _{fn}	U _{in}	W _{in}

20

FIG. 14

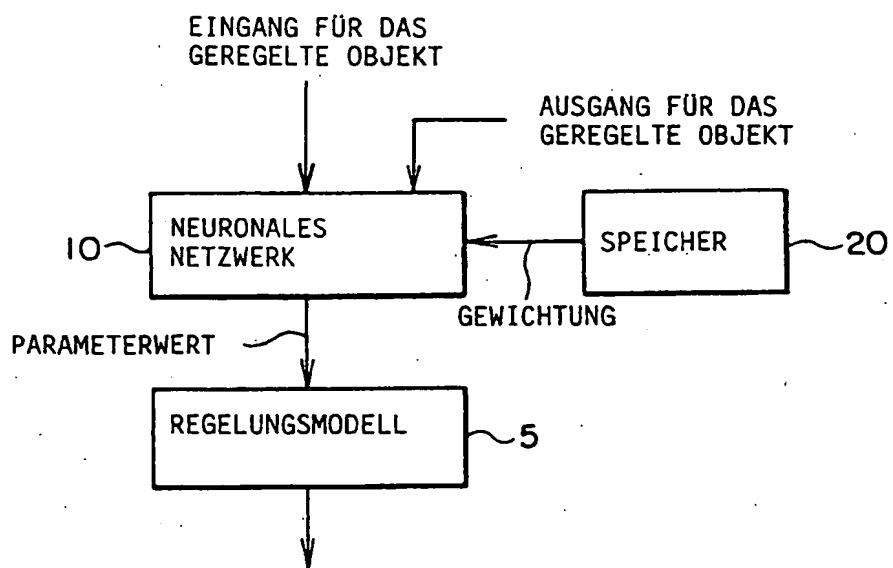


FIG. 15

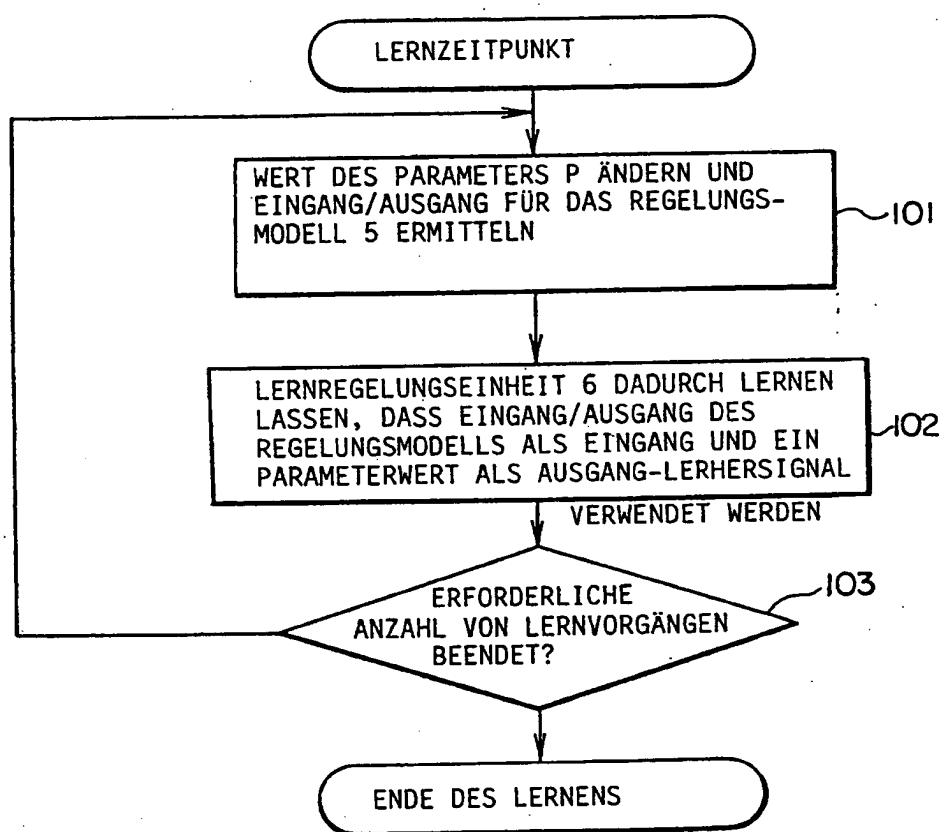


FIG. 16

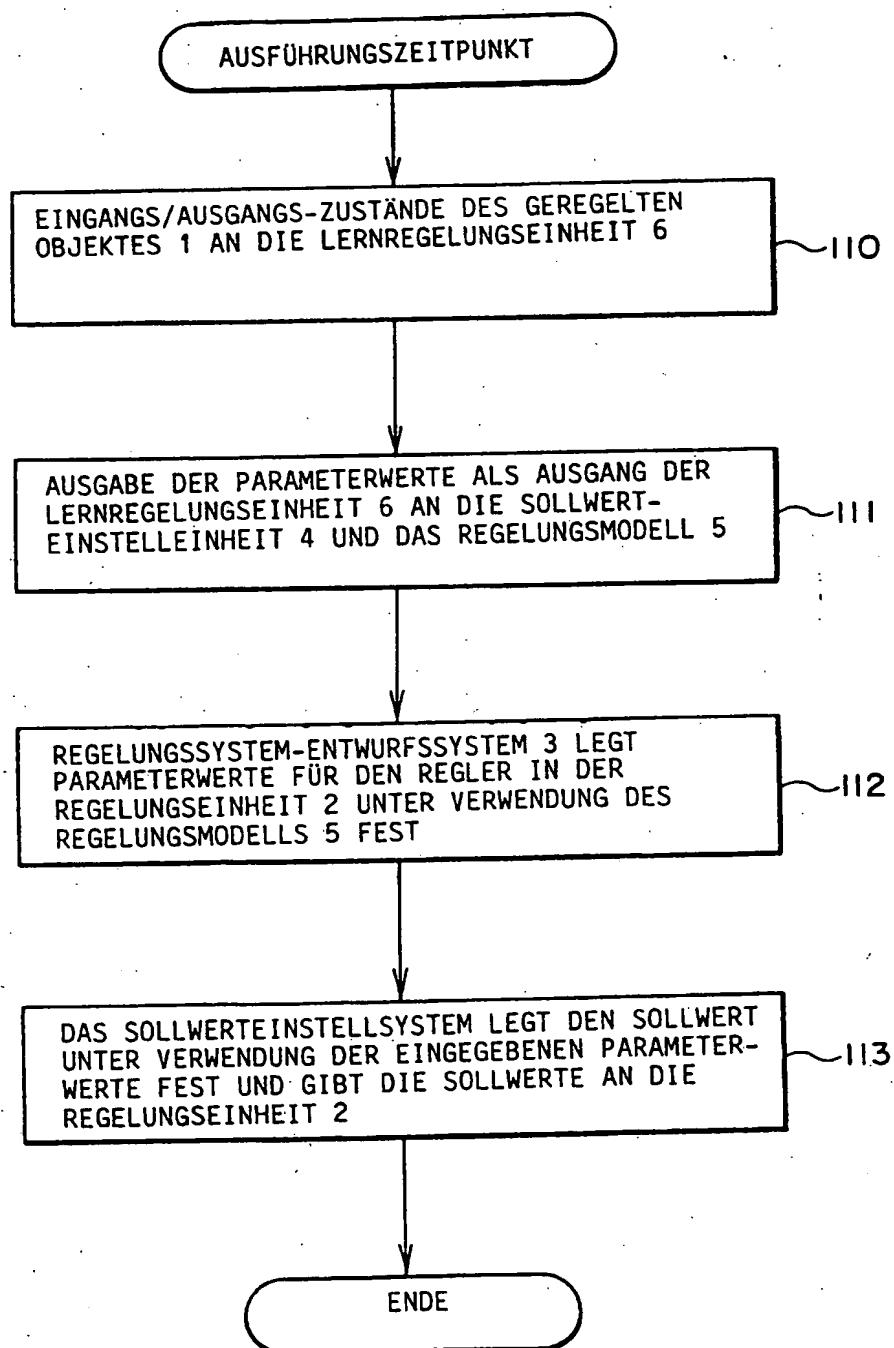


FIG. 17A

PARAMETERWERT

MODELL FÜR DAS
GEREGELTE OBJEKT

ZUSTÄNDE

FIG. 17B

ZUSTÄNDE

PARAMETER/ZUSTAND-
FUNKTION DES
REGELUNGSMODELLS

PARAMETERWERT

FIG. 17C

ZUSTÄNDE

EINGANGSSCHICHT
NEURONALES NETZWERK
AUSGANGSSCHICHT

PARAMETERWERT

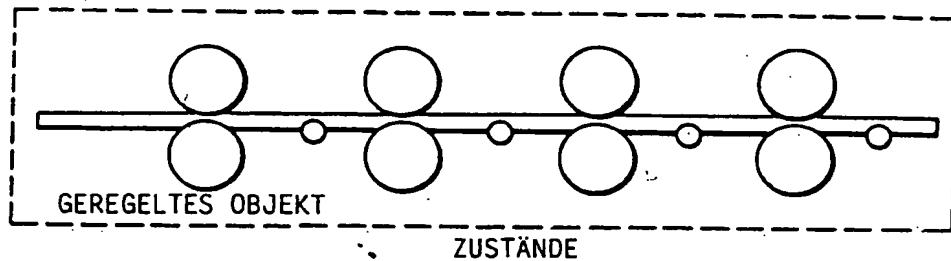
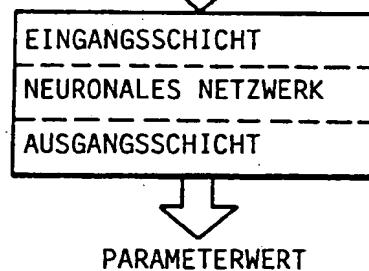
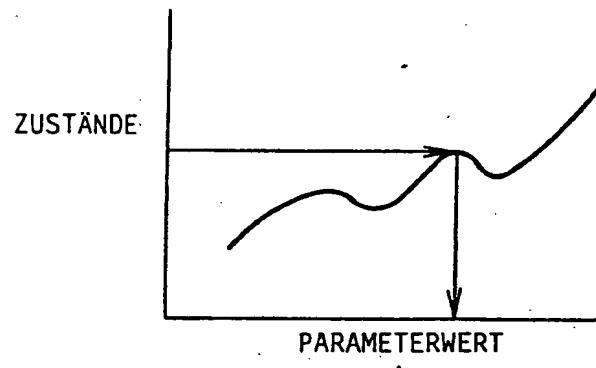
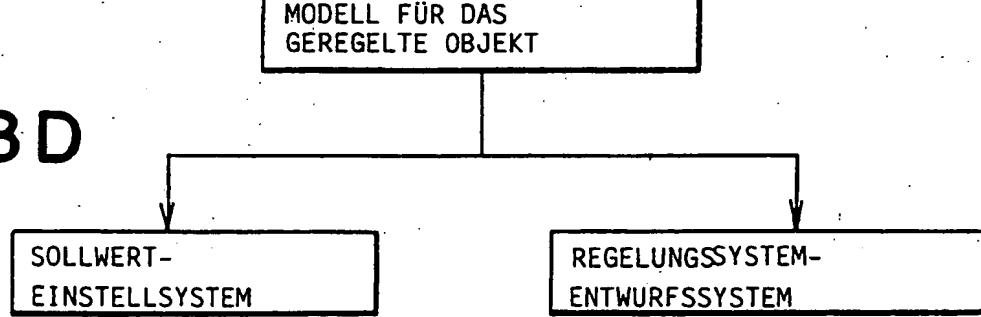
FIG. 18A**FIG. 18B****FIG. 18C****FIG. 18D**

FIG. 19

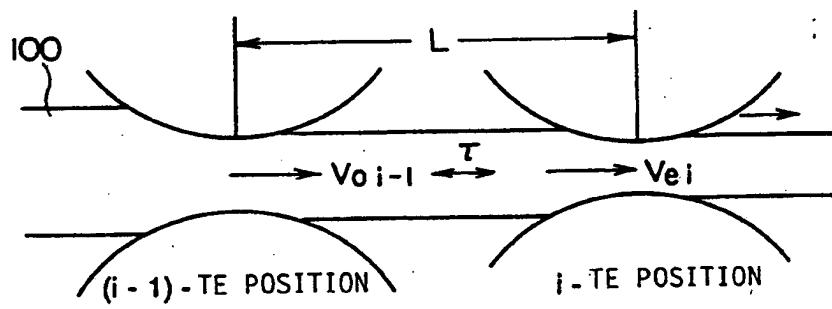


FIG. 20

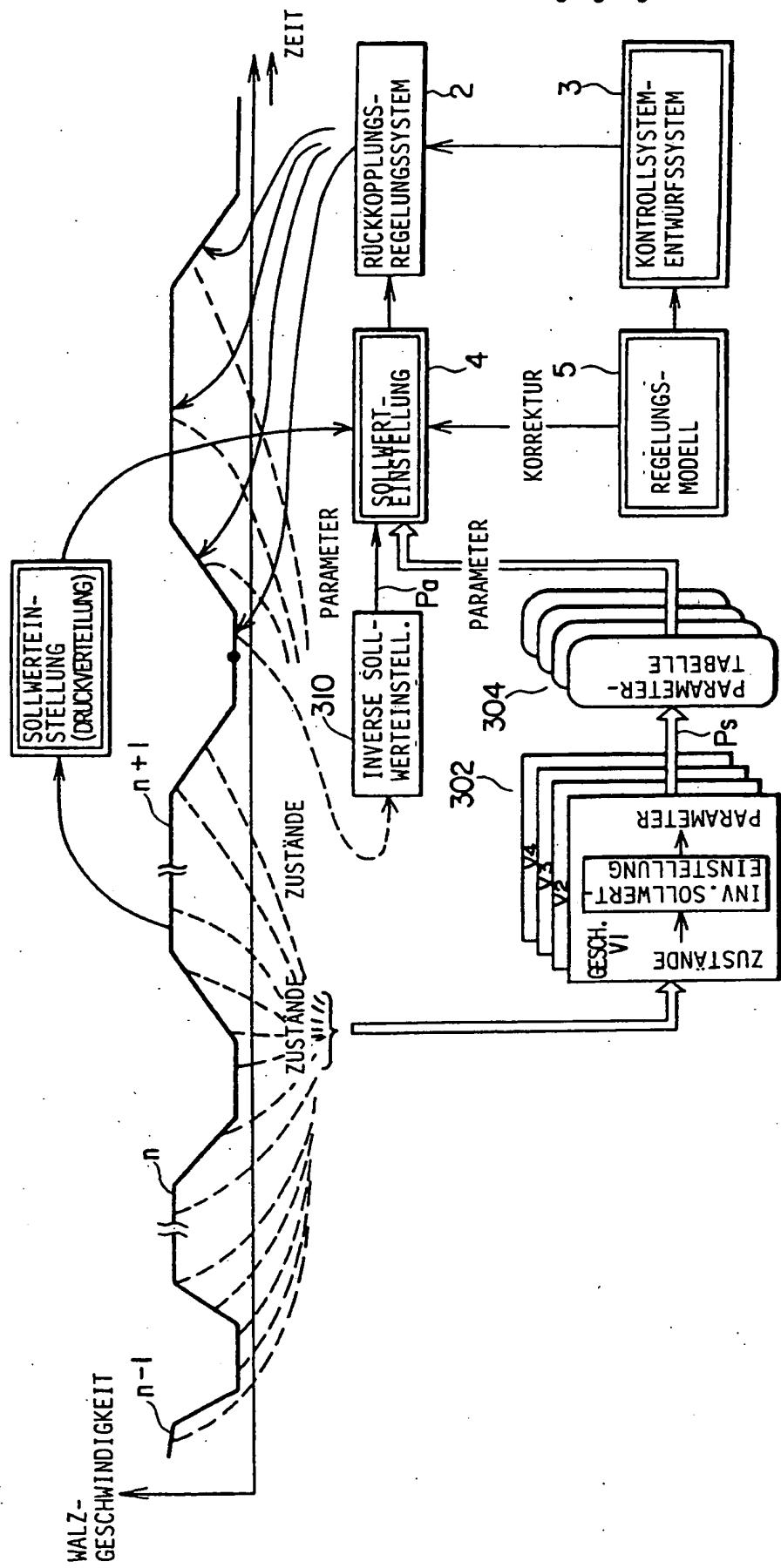


FIG. 21

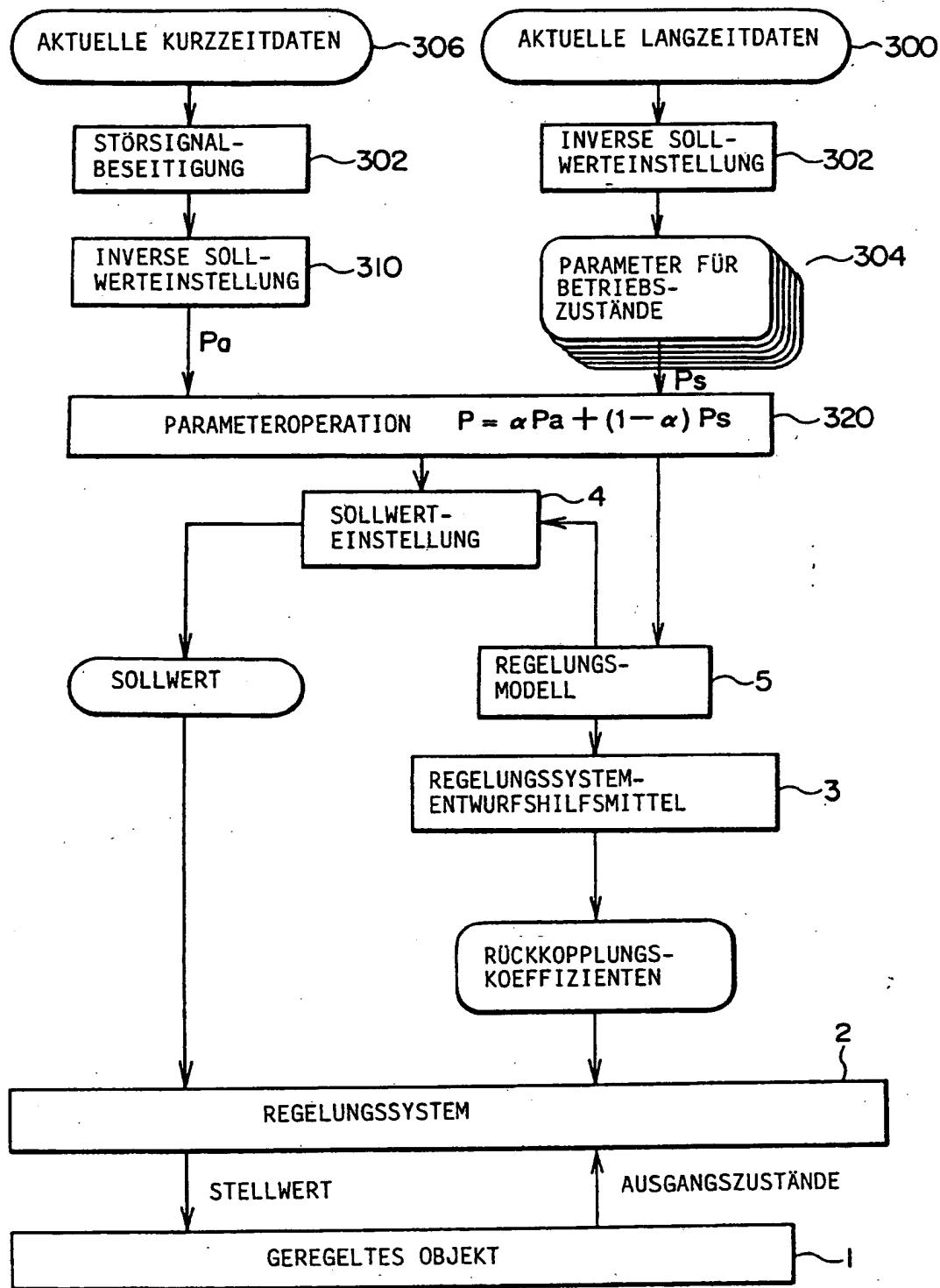


FIG. 22

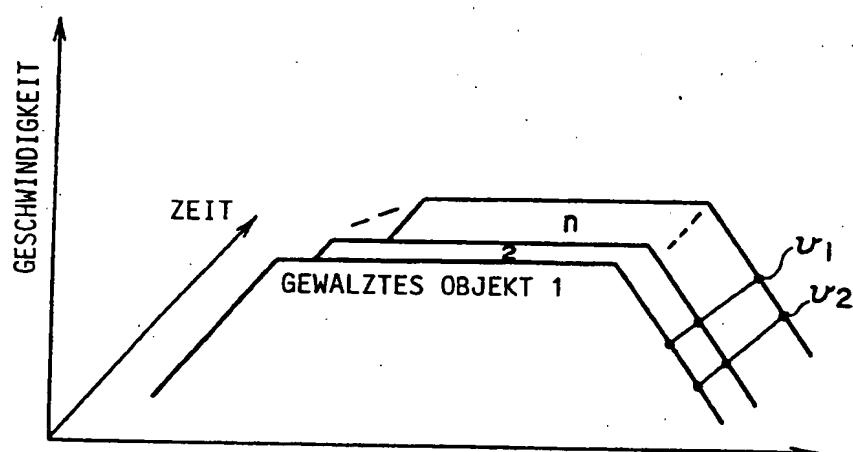


FIG. 23

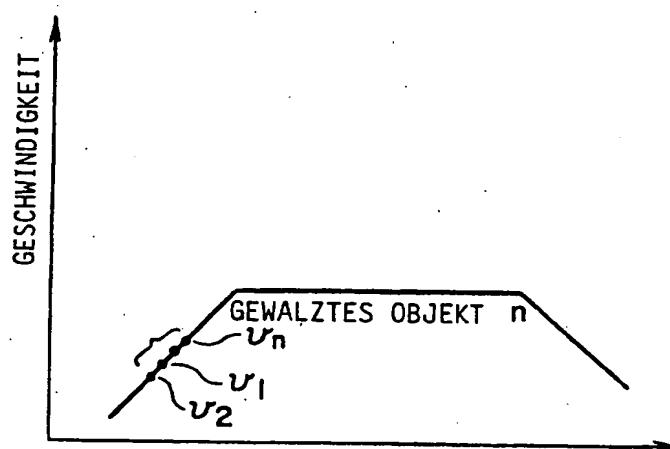
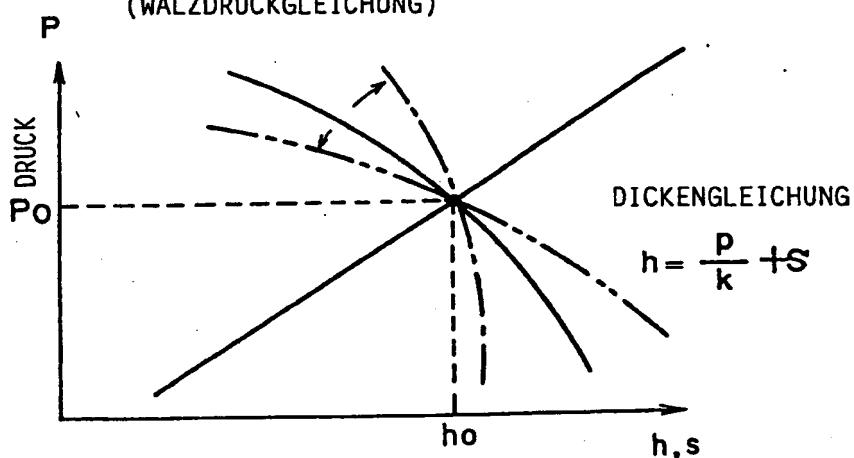


FIG. 24VERFORMUNGSKURVE DES GERADE
GEWALZTEN OBJEKTS
(WALZDRUCKGLEICHUNG)**FIG. 25**